

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 отключений на подстанции 35/10/0,4 кВ ООО «Угольная  
компания Разрез Майрыхский»  
тема

Руководитель	_____	<u>доцент, к.э.н.</u>	<u>Н.В. Дулесова</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>И.Ю. Чарочкин</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>И.А. Кычакова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

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 форме бакалаврской работы**

Студенту Чарочкину Игорю Юрьевичу

(фамилия, имя, отчество студента)

Группа ЗХЭН-12-01(З-12) Направление 13.03.02

(код)

«Электроэнергетика и электротехника»

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: Анализ аварийных отключений на подстанции 35/10/0,4 кВ ООО «Угловая Компания Разрез Майрыхский»

Утверждена приказом по университету № 260 от 07.05.2024 г.

Руководитель ВКР: Н.В. Дулесова, доцент каф. «Электроэнергетика, машиностроения и автомобильный транспорт», кандидат экономических наук

(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР: Однолинейная схема подстанции, структурная схема питающих подстанции потребителей 35/10/0,4 кВ, данные из журнала регистраций оперативно-дежурного персонала, ведомость нагрузок оборудования.

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

Введение.

1. Теоретическая часть.

1.1. Понятие и классификация отказов.

1.2. Показатели надежности электрических сетей.

1.3. Методические аспекты изучения аварийных отключений на подстанции.

2. Анализ аварийных отключений на подстанции 35/10/0,4 кВ ООО «Угловая компания Разрез Майрыхский».

2.1. Описание объекта исследования.

2.2. Сбор и анализ данных об аварийных отключениях.

2.3. Выявление основных причин аварийных ситуаций.

2.4. Анализ существующих методов предотвращения аварийных отключений.

3. Мероприятия по оптимизации работы подстанции ООО «Угловая Компания Разрез Майрыхский».

3.1. Разработка стратегии предотвращения аварийных ситуаций.

3.2. Оценка последствий аварийных отключений.

3.3. Оценка экономической эффективности внедрения мероприятий по снижению аварийности потребителей подстанции.

Заключение.

Перечень обязательных листов графической части:

Э1 Диаграммы результатов расчета количества аварийных отключений.

Э2 Однолинейная схема электрических соединений подстанции ООО «Угловая Компания Разрез Майрыхский».

Э3 Структурная схема питающих подстанции потребителей фидеров 35/10/0,4 кВ.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ Н. В. Дулесова  
(подпись) (инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ И.Ю. Чарочкин  
(подпись) (инициалы и фамилия)

«05» февраля 2024 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Анализ аварийных отключений на подстанции 35/10/0,4 кВ ООО «Угольная Копания Разрез Майрыхский» содержит 64 страницы текстового документа, 18 рисунков, 19 таблиц, 27 использованных источников, 3 листа графического материала.

ОТКАЗ, НАДЕЖНОСТЬ, ОТКЛЮЧЕНИЯ, ПОДСТАНЦИЯ, ПРИЧИНА, АНАЛИЗ, АВАРИЙНОСТЬ, ОПТИМИЗАЦИЯ.

Объектом исследования является подстанция 35/10/0,4 кВ «Угольная Копания Разрез Майрыхский».

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

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 предотвращения аварийных отключений.

Целью выполнения выпускной квалификационной работы является анализ состояния и выявление наиболее распространенных причин непреднамеренных отключений подстанции 35/10/0,4 кВ.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по применению современных методов предотвращения аварийных отключений и мероприятий по оптимизации работы подстанции.

Задачи выпускной квалификационной работы: провести статистический анализ аварийных отключений и их причин; предложить мероприятия по снижению риска возникновения аварий на подстанции 35/10/0,4 кВ.

## **THE ABSTRACT**

The final qualifying work on the topic "Analysis of emergency shutdowns at the substation 35/10/0.4 kV of LLC "Coal Mining Mayrykhsky Section" contains 64 pages of a text document, 18 figures, 19 tables, 27 sources used, 3 sheets of graphic material.

**FAILURE, RELIABILITY, SHUTDOWNS, SUBSTATION, CAUSE, ANALYSIS, ACCIDENT RATE, OPTIMIZATION.**

The object of the study is the substation 35/10/0.4 kV "Coal Mining Section Mayrykhsky".

The subject of the study is the causes of substation failures, their analysis and methods of measuring the uncertainty of events.

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 lies in the application of modern methods to prevent emergency shutdowns.

The purpose of the final qualification work is to analyze the condition and identify the most common causes of unintentional shutdowns of the 35/10/0.4 kV substation.

The practical significance of the work lies in the development of recommendations on the application of modern methods for preventing emergency shutdowns and measures to optimize the operation of the substation.

The objectives of the final qualification work: to conduct a statistical analysis of emergency shutdowns and their causes; to propose measures to reduce the risk of accidents at the 35/10/0.4 kV substation.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1. Теоретическая часть.....	9
1.1. Понятие и классификация отказов .....	9
1.2. Показатели надежности электрических сетей .....	17
1.3. Методические аспекты изучения аварийных отключений на подстанции.....	20
2. Анализ аварийных отключений на подстанции 35/10/0,4 кВ ООО «Угольная компания Разрез Майрыхский» .....	22
2.1. Описание объекта исследования. ....	22
2.2. Сбор и анализ данных об аварийных отключениях. ....	25
2.3. Выявление основных причин аварийных ситуаций.....	34
2.4. Анализ существующих методов предотвращения аварийных отключений.....	36
3. Мероприятия по оптимизации работы подстанции ООО «Угольная Компания Разрез Майрыхский».....	41
3.1. Разработка стратегии предотвращения аварийных ситуаций.....	41
3.2. Оценка последствий аварийных отключений.....	53
3.3. Оценка экономической эффективности внедрения мероприятий по снижению аварийности потребителей подстанции.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ....	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	60
Приложение 1 .....	63
Приложение 2.....	64

## ВВЕДЕНИЕ

Современная экономика сильно зависит от непрерывного обеспечения электроэнергией, и недостаток электричества может нанести серьезный ущерб производству и коммерческим предприятиям. Подстанции играют важную роль в распределении электроэнергии от производителей к потребителям, и их надежная работа критически важна для обеспечения стабильности электроснабжения. Однако, аварийные отключения на подстанциях могут привести к серьезным последствиям, включая простои оборудования, потери электроэнергии и возможные повреждения систем. Данная работа посвящена анализу аварийных отключений на подстанции 35/10/0,4 кВ ООО «Угольная Копания Разрез Майрыхский».

Целью выявления причин и последствий таких сбоев и предложения рекомендаций по их предотвращению.

Актуальность проблемы надлежащего функционирования электроэнергетических систем является одной из ключевых задач современного общества. Одним из важных аспектов обеспечения надежности энергоснабжения является анализ аварийных отключений на электроэнергетических объектах. В данном дипломном проекте проводится анализ аварийных отключений на подстанции 35/10/0,4 кВ ООО «Угольная Копания Разрез Майрыхский», с целью выявления причин и разработки мер по их предотвращению.

Объектом исследования является подстанции 35/10/0,4 кВ ООО «Угольная Копания Разрез Майрыхский».

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

Целью выполнения выпускной квалификационной работы является анализ состояния и выявление наиболее распространенных причин непреднамеренных отключений подстанции 35/10/0,4 кВ.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- изучить понятия и классификацию отказов;
- изучить показатели надежности электрических сетей;
- провести статистический анализ аварийных отключений и их причин;
- предложить мероприятия по оптимизации работы подстанции 35/10/0,4 кВ.

В течение работы над выпускной квалификационной работой были получены следующие результаты:

- выполнен статистический анализ аварийных отключений и их причин;
- предложены мероприятия по оптимизации работы подстанции 35/10/0,4 кВ.

Научная новизна исследования заключается в применении современных методов предотвращения аварийных отключений.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по применению современных методов предотвращения аварийных отключений и мероприятий по оптимизации работы подстанции.

## 1. Теоретическая часть

### 1.1. Понятие и классификация отказов

Одним из основных понятий теории надежности является понятие отказа (изделия, объекта, элемента, системы). Как уже отмечалось выше, отказ - это потеря способности изделия выполнить требуемую функцию.

В соответствии с ГОСТ Р 53480-2009 даны определения видов отказов (п.1.1).

Основными причинами возникновения отказов являются:

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

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

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

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

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

По типу отказы подразделяются на:

- отказы функционирования (выполнение основных функций изделием прекращается, например, поломка зубьев шестерни);
- отказы параметрические (некоторые параметры изделия изменяются в недопустимых пределах, например, потеря точности станка).

По своей природе отказы могут быть:

- случайные, обусловленные непредусмотренными перегрузками, дефектами материала, ошибками персонала или сбоями системы управления и т. п.;
- систематические, обусловленные закономерными и неизбежными явлениями, вызывающими постепенное накопление повреждений: усталость, износ, старение, коррозия и т. п.

Отказы элементов систем могут возникать в результате (рис. 1):

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

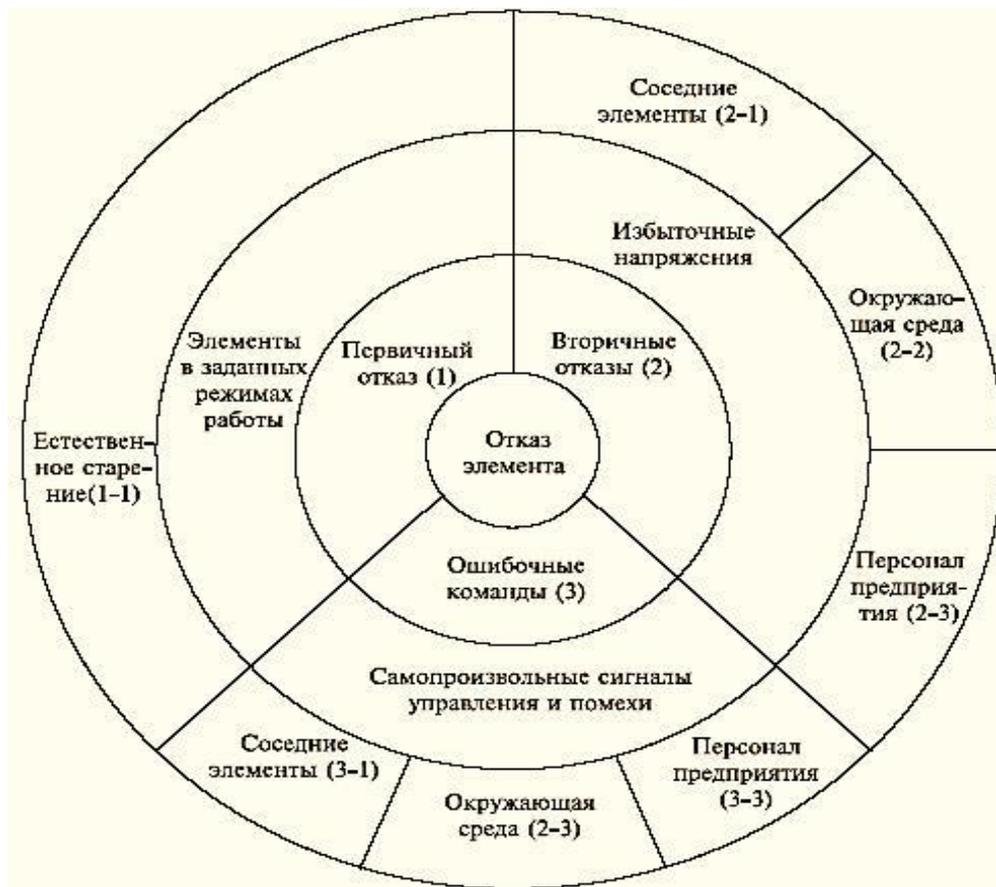


Рисунок 1 – Классификация отказов

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

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

Вторичный отказ - такой же, как первичный, за исключением того, что сам элемент не является причиной отказа. Вторичные отказы объясняются

воздействием предыдущих или текущих избыточных напряжений на элементы. Амплитуда, частота, продолжительность действия этих напряжений могут выходить за пределы допусков или иметь обратную полярность и вызываются различными источниками энергии: термической, механической, электрической, химической, магнитной, радиоактивной и т.п. Эти напряжения вызываются соседними элементами или окружающей средой, например - метеорологическими (ливень, ветровая нагрузка), геологическими условиями (оползни, просадка грунтов), а также воздействием со стороны других технических систем.

Примером вторичных отказов служит «срабатывание предохранителя от повышенного электрического тока», «повреждение емкостей для хранения при землетрясении». Следует отметить, что устранение источников повышенных напряжений не гарантирует возвращение элемента в рабочее состояние, так как предыдущая перегрузка могла вызвать необратимое повреждение в элементе, требующее в этом случае ремонта.

Инициированные отказы (ошибочные команды). Люди, например, операторы и обслуживающий технический персонал, также являются возможными источниками вторичных отказов, если их действия приводят к выходу элементов из строя. Ошибочные команды представляются в виде элемента, находящегося в нерабочем состоянии из-за неправильного сигнала управления или помех (при этом лишь иногда требуется ремонт для возвращения данного элемента в рабочее состояние). Самопроизвольные сигналы управления или помехи часто не оставляют последствий (повреждений), и в нормальных последующих режимах элементы работают в соответствии с заданными требованиями. Типичными примерами ошибочных команд являются: «переключатель случайно не разомкнулся из-за помех», «помехи на входе контрольного прибора в системе безопасности вызвали ложный сигнал на остановку», «оператор не нажал на аварийную кнопку» (ошибочная команда от аварийной кнопки).

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

- конструкторские недоработки оборудования (дефекты, не выявленные на стадии проектирования и приводящие к отказам вследствие взаимной зависимости между электрическими и механическими подсистемами или элементами избыточной системы);
- ошибки эксплуатации и технического обслуживания (неправильная регулировка или калибровка, небрежность оператора, неправильное обращение и т. п.);
- воздействие окружающей среды (влажность, пыль, грязь, температура, вибрация, а также экстремальные режимы нормальной эксплуатации);
- внешние катастрофические воздействия (естественные внешние явления, такие как наводнение, землетрясение, пожар, ураган);
- общий изготовитель (резервируемое оборудование или его компоненты, поставляемые одним и тем же изготовителем, могут иметь общие конструктивные или производственные дефекты. Например, производственные дефекты могут быть вызваны неправильным выбором материала, ошибками в системах монтажа, некачественной пайкой и т. п.);
- общий внешний источник питания (общий источник питания для основного и резервного оборудования, резервируемых подсистем и элементов);
- неправильное функционирование (неверно выбранный комплекс измерительных приборов или неудовлетворительно спланированные меры защиты).

Известен целый ряд примеров множественных отказов: так, некоторые параллельно соединенные пружинные реле выходили из строя одновременно и их отказы были вызваны общей причиной; вследствие неправильного расцепления муфт при техническом обслуживании два клапана оказались установлены в неправильное положение; из-за разрушения паропровода имели место сразу несколько отказов коммутационного щита. В некоторых

случаях общая причина вызывает не полный отказ резервированной системы (одновременный отказ нескольких узлов, т.е. предельный случай), а менее серьезное общее понижение надежности, что приводит к повышению вероятности совместного отказа узлов систем. Такое явление наблюдается в случае исключительно неблагоприятных окружающих условий, когда ухудшение характеристик приводит к отказу резервного узла. Наличие общих неблагоприятных внешних условий приводит к тому, что отказ второго узла зависит от отказа первого и спарен с ним.

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

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

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

Отказы по причинным схемам возникновения подразделяются на следующие группы:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Основные признаки классификации отказов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные признаки классификации отказов

Характер возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> <li>внезапный отказ – отказ, проявляющийся в резком (мгновенном) изменении характеристик объекта;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>постепенный отказ – отказ, происходящий в результате медленного, постепенного ухудшения качества объекта.</li> </ul>
<p>Внезапные отказы обычно проявляются в виде механических повреждений элементов (трещины – хрупкое разрушение, пробои изоляции, обрывы и т. п.) и не сопровождаются предварительными видимыми признаками их приближения. Внезапный отказ характеризуется независимостью момента наступления от времени предыдущей работы.</p> <p>Постепенные отказы - связаны с износом деталей и старением материалов.</p>	
причина возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> <li>конструкционный отказ, вызванный недостатками и неудачной конструкцией объекта;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>производственный отказ, связанный с ошибками при изготовлении объекта по причине несовершенства или нарушения технологии;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>эксплуатационный отказ, вызванный нарушением правил эксплуатации.</li> </ul>
Характер устранения:	<ul style="list-style-type: none"> <li>устойчивый отказ;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>перебегающий отказ (возникающий/исчезающий). последствия отказа: легкий отказ (легкоустраняемый);</li> </ul>

## Окончание таблицы 1

Характер устранения:	• средний отказ (не вызывающий отказы смежных узлов – вторичные отказы);
	• тяжелый отказ (вызывающий вторичные отказы или приводящий к угрозе жизни и здоровью человека).
Дальнейшее использование объекта:	• полные отказы, исключающие возможность работы объекта до их устранения;
	• частичные отказы, при которых объект может частично использоваться.
Легкость обнаружения:	• очевидные (явные) отказы;
	• скрытые (неявные) отказы.
Время возникновения:	• приработочные отказы, возникающие в начальный период эксплуатации;
	• отказы при нормальной эксплуатации;
	• износные отказы, вызванные необратимыми процессами износа деталей, старения материалов и пр.

### 1.2. Показатели надежности электрических сетей

Надежность электрических сетей измеряется различными показателями, которые позволяют оценить степень надежности и качество электроснабжения. Некоторые из основных показателей надежности электрических сетей включают:

1. Надежность поставки электроэнергии: этот показатель оценивает время, в течение которого электрическая сеть обеспечивает необходимую нормальную работу потребителя. Обычно выражается через коэффициент надежности, который указывает на время нормальной работы сети в течение года.

2. Количество перерывов в электроснабжении: этот показатель отражает количество и длительность перерывов в электроснабжении потребителей. Также может измеряться в виде среднего времени восстановления электроснабжения и среднего количества перерывов на пользователя.

3. Качество поставки электроэнергии: это показатель характеризует уровень напряжения и частоту электроснабжения, а также отклонения от

нормативных значений. Качество электроснабжения может измеряться с помощью коэффициентов качества поставки электроэнергии.

4. Эффективность работы системы управления и контроля: этот показатель оценивает работу систем управления и контроля электрической сети, включая автоматизацию, мониторинг и диагностику сети.

5. Степень защищенности от внешних воздействий: этот показатель оценивает уровень защиты и устойчивости электрической сети от различных внешних воздействий, таких как непогодные условия, аварии, саботаж, кибератаки и прочие чрезвычайные ситуации.

Таким образом, показатели надежности электрических сетей являются важным инструментом для оценки и улучшения работоспособности и качества электроснабжения, а также для обеспечения безопасности и стабильности работы электрической инфраструктуры.

Показателем надежности назовем величину, характеризующую одну или несколько свойств, определяющих надежность системы.

Нормативные документы [10, 11] предусматривают рассмотрение единичных показателей безотказности, ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости, а также комплексных показателей, таких как коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности, коэффициент технического использования, характеризующих два или более свойств.

Ряд показателей электрических сетей приводятся в разработках ОАО «Фирма ОРГРЭС» и другой технической литературе [1, 2, 7, 8]. Имеющиеся данные составлены на основе материалов эксплуатации электрических сетей и предназначены для проведения сравнительных расчетов и оценки вариантов сетей, оценки уровня надежности различных схем, определения целесообразности использования средств повышения надежности. Выборки обычно фиксировались за срок не менее 6 лет. При этом тенденция по значительному изменению показателей надежности не выявлена.

В качестве показателей, количественно характеризующих надежность участка сети и ее элементов, рекомендуется использовать:

1. Параметр потока отказов  $\omega$  (при простейшем параметре потока отказов  $\omega = \lambda$ ), т.е. среднее количество отказов в единицу времени (обычно год), отнесенные к одному элементу, отказ/год. Для линий электропередачи параметр потока отказов может относиться к 1 км линии и измеряется в отказ/(км·год).

2. Среднее время восстановления (аварийного ремонта)  $T_v$ , год/отказ.

3. Параметр потока преднамеренных (плановых) отключений  $\omega_p$ , простой/год.

4. Средняя продолжительность одного преднамеренного отключения  $T_p$ , год/простой.

5. Коэффициент готовности (вероятность работоспособного состояния в промежутках между плановыми ремонтами)  $K_g$ , о.е.

6. Вероятность вынужденного простоя (вероятность неработоспособного состояния в промежутках между плановыми простоями)  $K_v$ , о.е.

7. Вероятность безотказной работы (вероятность того, что в пределах заданного времени или наработки не произойдет отказа)  $P(t)$ , о.е. Вероятность безотказной работы применяется для невозстанавливаемых систем. Для сетей его рекомендуется использовать до первого отказа, при этом  $t$  принимается равным году.

Перечисленные показатели надежности являются техническими характеристиками и позволяют сопоставлять между собой надежность нескольких альтернативных вариантов построения сети, а также проверять соответствие уровня надежности рассматриваемого варианта требованиям технического задания на проектирование объекта.

Из рассматриваемых показателей параметр потока отказов, параметр потока преднамеренных отключений, среднее время плановых и аварийных отключений, являются базовыми и позволяют рассчитать другие показатели. Ниже, в таблице 2 приведены усредненные данные по указанным показателям.

Таблица 2 – Показатели надежности элементов электрических сетей

Элементы сети	U <sub>ном</sub> , кВ	ω, отказ/год	T <sub>н</sub> ·10 <sup>-3</sup> год/отказ	ω <sub>п</sub> , простой/год	T <sub>п</sub> ·10 <sup>-3</sup> год/простой
Воздушные ЛЭП (число аварийных отключений на 100 км, число плановых отключений на 1 линию)					
- на железобетонных опорах	До 1	25	0,2	0,17	0,7
	10	7,6	0,5	0,17	0,9
	35	1,6/0,4*	1,2/1,3	4/0,3	1,5/1,3
	110	3,9/0,9	1,0/1,5	3,8/0,4	1,3/1,5
- на металлических опорах	35	2	1,8	2,2	1,9
	110	3,9	1,5	2,9	1,7
Трансформаторы и автотрансформаторы	10	0,016	6	0,25	0,5
	35	0,01	8	0,25	3
	110	0,015	8	0,5	3,2
Выключатели:					
- воздушные	10	0,04	1,7	0,2	1
	35	0,01	1,7	0,2	1
	110	0,03	3	0,2	6
-масляные баковые	35	0,01	1,7	0,14	1
	110	0,02	3	0,14	6
-маломасляные	10	0,09	1,7	0,14	1
	35	0,03	1,7	0,14	1
	110	0,06	3	0,14	6
Отделители и короткозамыкатели	35	0,1	0,7	0,2	0,8
	110	0,01	0,8	0,2	1
Сборные шины (на 1 присоединение)	10	0,03	0,8	0,2	0,5
	35	0,02	0,8	0,17	0,5
	110	0,016	0,6	0,17	0,5

В числителе дроби – для одной цепи, в знаменателе – для двух цепей.

Рассмотренные базовые показатели надежности зависят от технического состояния электрической сети и для конкретного объекта могут отличаться от данных, приведенных в таблице 1. Более достоверной является информация, получаемая по материалам эксплуатации на данном конкретном электросетевом предприятии.

### 1.3. Методические аспекты изучения аварийных отключений на подстанции

Изучение аварийных отключений на подстанции является важной частью работы персонала энергетических предприятий, так как позволяет

выявить причины и предотвратить повторение подобных ситуаций. Для проведения анализа аварийных отключений необходимо учитывать следующие методические аспекты:

1. Сбор и анализ информации. Необходимо составить отчет о произошедшем аварийном отключении, включающий дату и время события, причины отключения, последствия, продолжительность отключения и действия оперативного персонала. Эта информация поможет выявить слабые места в работе подстанции и принять меры по их устранению.
2. Идентификация причин аварийных отключений. Для выявления причин аварийных отключений необходимо провести тщательный анализ работы оборудования, технические особенности объекта, условия эксплуатации и действия персонала. Только идентификация причин позволит разработать меры по их устранению и предотвращению.
3. Разработка мер по предотвращению аварийных отключений. На основе анализа причин аварийных отключений необходимо разработать конкретные меры по предотвращению подобных ситуаций в будущем. Это может включать в себя улучшение технического состояния оборудования, обновление системы контроля и управления, проведение дополнительных тренировок для персонала и т.д.
4. Обучение персонала. Регулярное обучение персонала по профилактике аварийных ситуаций и действиям в чрезвычайных ситуациях является одним из важных аспектов работы по улучшению работы подстанции и предотвращению аварийных отключений.
5. Проведение регулярных проверок и тестов. Для обеспечения надежности работы подстанции необходимо проводить регулярные проверки и тесты оборудования, а также анализировать статистику аварийных отключений для выявления тенденций и принятия соответствующих мер.

В целом, изучение аварийных отключений на подстанции требует серьезного подхода и комплексного анализа с целью устранения причин и предотвращения подобных ситуаций в будущем.

## 2. Анализ аварийных отключений на подстанции 35/10/0,4 кВ ООО «Угольная компания Разрез Майрыхский»

### 2.1. Описание объекта исследования.

Электроснабжение ООО «Угольная Компания Разрез Майрыхский» согласно приведенным схемам и договору энергоснабжения № 18.1900.3944.16 от 21.12.2016г. с ПАО «МРСК Сибири», осуществляется от подстанции ПС-110/35 кВ «Райково» по линии ВЛ-35 кВ Т-58 до пункта коммерческого учета электроэнергии, установленного на стороне 35 кВ ПС 35/10 кВ «Майрыхская». Электроснабжение трансформаторных подстанций различной мощности осуществляется от ячеек отходящих линий от распределительного устройства 10 кВ, питающегося от трансформатора 1Т типа ТМН-6300/35/10 и от трансформатора 2Т типа ТМН-4000/35/10. КРУНН 10 кВ питает все подстанции разреза от двух систем шин (с секционированием): КРУНН-1 10 кВ и КРУНН-2 10 кВ.

По надежности электроснабжения различные потребители предприятия относятся ко II-III категории. Сведения об электропотребителях основного производства приведены в таблице 3. К вспомогательному производству относится комплекс АБК (административно-бытовой корпус), общей мощностью порядка 0,27 МВт.

Таблица 3 – Сведения об электропотребителях основного производства по состоянию на 2022 год

Направление оборудования/установки	Тип/марка	Эксплуатационный номер	Количество часов работы оборудования	Установленная мощность, МВт	Потребленная электроэнергия, тыс.кВт.ч
1	2	3	4	5	
Установка сухого обогащения	FGX48A	1	4320	1,301	5600
Зумпф.№1 насос	1д-630-90	1	8760	0,206	46,87
Зумпф.№1 насос	1д-630-90	2	8760	0,206	46,87
Зумпф.№2 насос	1д-630-90	3	8760	0,206	46,87
Зумпф.№2 насос	1д-630-90	4	8760	0,206	46,87
Очистные сооружения насос 1	1д-630-90	5	8760	0,206	46,87
Очистные сооружения насос 2	1д-630-90	6	8760	0,206	46,87
Установка сухого обогащения	FGX12	1	6350	0,41	2047,87

### Окончание таблицы 3

Установка Дробильно Сортировочная	Дробмаш	1	7782	0,11	172,325
АБК	-	-	-	0,27	102,4
ИТОГО				3,327	8209,815

Сведения о мощности ТП 10/0,4 кВ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Сведения о трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ

Производство, цех, номер подстанции	Год ввода в эксплуатацию	Тип трансформатора	Количество трансформаторов	Суммарная мощность подстанции, кВА	Напряжение, кВ высшее/низшее
1	2	3	4	5	6
КТП «АБК»	2016	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «Очистные»	2016	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «Карьер1»	2016	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «Карьер2»	2016	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «ДСК1»	2017	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «ДСК2»	2017	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «ДСК3»	2017	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «ДСК4»	2017	ТМГ	1	1000	10/0,4
КТП «Сушка»	2018	ТМГ	2	3200	10/0,4
КТП «FGX48»	2018	ТМГ	1	1000	10/0,4
КТП «Рембокс»	2017	ТМГ	1	630	10/0,4
КТП «КПП2»	2017	ТМГ	1	25	10/0,4
КТП «КПП3»	2017	ТМГ	1	25	10/0,4
КТП «АБК Горный»	2016	ТМГ	1	400	10/0,4
ИТОГО				10690	
ПС 35кВ Майрыхская	2016	ТМН	1	6300	35/11
ВСЕГО				16990	

С целью компенсации реактивной мощности на ПС 35/10 кВ «Майрыхская» установлена комплектная конденсаторная установка на напряжение 10 кВ со ступенчатым автоматическим включением конденсаторных батарей. Она используется в целях компенсации реактивной мощности на шинах ККУ-10 кВ, в КРУНН-2. Сведения о конденсаторных установках приведены в таблице 5.

Сведения о главной понизительной подстанции приведены в таблице 35 сведения о питающих линиях – в таблице 6. Используются провода марки АС (неизолированные) на питающей подстанции ПС 35/10 кВ «Майрыхская» (линии ВЛ-35 кВ), а также провода СИП для питания трансформаторных подстанций от РУ 10 кВ. Во внутренней электропроводке используются кабели типов ВВГ, КГ.

Таблица 5 – Главные понизительные подстанции разреза

Подстанции	Тип трансформатора	Количество трансформаторов	Суммарная мощность подстанции, кВА	Напряжение, кВ высшее/нижнее
ПС 35/10 «Майрыхская»	ТМН-6300/35/10, ТМН-4000/35/10	2	10300	35/11 кВ

Таблица 6 – Сведения о протяженности воздушных и кабельных линий

№ п/п	Класс напряжения	Динамика изменения показателей по годам				
		предшествующие годы				отчетный (базовый) год
		2020	2021	2022	2023	
1	Воздушные линии					
1.1	35 кВ	—	0,4	0,4	0,4	0,4
1.2	10 кВ	—	1,24	3,76	11,2	38,2
	Итого от 6 кВ и выше	—	1,64	4,16	11,6	38,6
1.3	500 В и ниже	—	0,1	0,2	1,3	2,9
	Итого ниже 6 кВ	—	0,1	0,2	1,3	2,9
	Всего по воздушным линиям	—	1,74	4,36	12,9	41,5
2	Кабельные линии					
2.1	10 кВ	—	—	—	—	3,6
	Итого от 6 кВ и выше	—	—	—	—	3,6
2.2	500 В и ниже	—	—	0,32	0,87	3,4
	Итого ниже 6 кВ	—	—	0,32	0,87	3,4
	Всего по кабельным линиям	—	—	0,32	0,87	7,0
	Всего по воздушным и кабельным линиям	—	1,74	4,68	13,77	48,5

Таблица 7– Сведения об устройствах компенсации реактивной мощности

№ п/п	Место установки	Тип	Кол-во	Общая мощность, кВар
1	КРУНН-1 10 кВ	УКРМФ-10,5-350-100 УХЛ4	1	350
2	КРУНН-2 10 кВ	УКРМФ-10,5-600-100 УХЛ4	1	600
ИТОГО			2	950

Все электродвигатели до 1 кВ мощностью от 30 кВт и выше оборудованы преобразователями частоты; выше 1 кВ - устройствами плавного пуска.

Для резервирования питания установлено 7 дизельных электростанций (две ДЭС-100 на 380 В для АБК горного участка, лаборатории и ремонтного бокса, ДЭС-100 на 380 В для АБК №1-6, ДЭС-400 на 380 В для участка погрузки угля, ДЭС-460 и ДЭС-320 на 380 В для водоотлива, ДЭС-33 кВт для очистных сооружений).

Перечень приборов коммерческого учета электроэнергии приведен в таблице 8. Сроки поверки приборов не нарушены.

Таблица 8 – Перечень приборов коммерческого учета электроэнергии

№ п/п	Точка поставки	Напряжение на границе балансовой принадлежности сети	Место установки счетчика	№ счетчика
1	Точка поставки №1 – болтовое присоединение на опоре №87 линии ВЛ-35 кВ Т-58	СН1	Пункт коммерческого учета (ПКУ)	СЭТ 4тм03, класс точности поверка 03.2016

Система технического учета электроэнергии на предприятии имеет место для потребителей 10 кВ (подстанций ТП 10/0,4 кВ) и на некоторых подстанциях на низком напряжении 0,4 кВ.

На схемах обозначены (синим цветом) места установки приборов учета. Их марки прописаны в таблицах к схемам слева (рисунки 3-4). В подстанциях КТПН-10/0,4 кВ приборы учета установлены на стороне 0,4 кВ марки Меркурий 230ART-00 PQRSIDN. В отходящих ячейках РУ 10 кВ использованы те же марки счетчиков, что и для коммерческого учета. Поверка для них не требуется.

## 2.2. Сбор и анализ данных об аварийных отключениях.

Основные причины аварийных отключений на участке Майрыхский представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Основные причины аварийных отключений на участке Майрыхский

№	Дата	Наименование объекта	Вид повреждения	Причина
1	12.01.2021	Линия двухцепная 2,3	Разрыв СИП между опор 101 – 102	Перетяжка пролета

Продолжение таблицы 9

2	18.04.2021	Линия двухцепная 4,5	Повреждение изолятора опоры 137	Взрыв горной массы
3	05.05.2021	Линия двухцепная 2,3	Повреждение вентиляционного разрядника РВО – 10 кВ	Удар молнии
4	22.07.2021	КТП «ДСК1»	Повреждение вентиляционного разрядника РВО – 10 кВ фаза «А»	Удар молнии
5	25.08.2021	Линия двухцепная 4,5	Разрыв линии опоры 165	Подмывание опоры
6	05.08.2021	КТП «Очистные»	Повреждение вентиляционного разрядника РВО – 10 кВ фаза «С»	Удар молнии
7	06.09.2021	FGX 48А №2	Отключение КРУНН 1	Технологическая ошибка запуска (превышение по току)
8	10.12.2021	Линия двухцепная 2,3	Разрыв линии СИП между опор 112 - 113	Ослабление гильзового соединения СИП
9	01.01.2022	FGX 48А №2	Сгорел эл.двигатель 500 кВт 10 кВ 1 линии	Технологическая ошибка запуска (более 2 раз в час, частый запуск)
10	08.02.2022	Линия двухцепная 4,5	Короткое замыкание РЛНД – 10 кВ	Птица
11	16.04.2022	Подстанция 35/10 кВ «Майрыхская»	Короткое замыкание проходных изоляторов	птицы
12	22.05.2022	КТП «Сушка»	Короткое замыкание трансформатора ЗНОЛП – 10 кВ	Пробой изоляторов трансформатора напряжения
13	06.06.2022	FGX 48А №2	Замыкание на землю эл.двигатель 500 кВт 10 кВ 2 линии	Технологическая ошибка запуска (более 2 раз в час, частый запуск)
14	08.08.2022	КТП «Горный участок»	Повреждение вентиляционного разрядника РВО – 10 кВ фаза «В»	Удар молнии
15	10.08.2022	Линия двухцепная 4,5	Разрыв линии опоры 141 - 142	Взрыв горной массы
16	22.09.2022	Подстанция 35/10 кВ «Майрыхская»	Короткое замыкание на шинопроводе	Птицы
17	30.09.2022	Линия двухцепная 2,3	Разрыв линии опоры 105 - 106	Взрыв горной массы
18	29.11.2022	FGX 48А №1	Аварийное отключение КРУНН 2	Технологическая ошибка запуска (превышение по току)
19	25.12.2022	Линия двухцепная 4,5	Разрыв линии опоры 148 - 149	Перетяжка пролета
20	02.01.2023	FGX 48А №1	Аварийное отключение КРУНН 2	Технологическая ошибка запуска (превышение по току)
21	11.02.2023	Линия двухцепная 4,5	Короткое замыкание РЛНД – 10 кВ	Птицы
22	18.03.2023	FGX 48А №2	Отключение КРУНН 1	Технологическая ошибка запуска (превышение по току)
23	25.05.2023	КТП «Рембокс»	Повреждение вентиляционного разрядника РВО – 10 кВ фаза «В»	Удар молнии
24	27.07.2023	Линия двухцепная 2,3	Повреждение вентиляционного разрядника РВО – 10 кВ фаза «А»	Удар молнии
25	29.07.2023	Линия двухцепная 4,5	Разрыв Линии опоры 154	Подмывание опоры
26	03.08.2023	Подстанция 35/10 кВ «Майрыхская»	Короткое замыкание на разъединителе	Птицы

## Окончание таблицы 9

27	24.09.2023	FGX 48A №1	Аварийное отключение КРУНН 2	Технологическая ошибка запуска (превышение по току)
----	------------	------------	------------------------------	---

Причины аварийных отключений были взяты из оперативных журналов диспетчерского персонала: птицы, грозовые перенапряжения, обрывы линии электропередач, взрывы изоляторов, некачественные услуги ПАО РОССЕТИ, просадка напряжения.

Причины аварийных отключений можно разделить на три группы:

1. Причины природного характера аварийных отключений. К ним относятся:
  - удар молнии;
  - птицы;
  - подмывание опоры.
2. Причины технологического характера. К ним относятся:
  - технологическая ошибка запуска;
  - взрыв горной массы;
  - перетяжка пролета.
3. Конструкционные причины. К ним относятся:
  - ослабление гильзового соединения СИП;
  - пробой изоляторов трансформатора напряжения.

Количество аварийных отключений объектов за период 2021-2023 гг. представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Количество аварийных отключений за период 2021-2023 гг.

Из диаграммы видно, наибольшее количество отключений было в 2022 году – 11. В 2022 году количество аварийных отключений на участке Майхрыхский возросло на 38% по сравнению с 2021 г., в 2023 г. количество аварийных отключений уменьшилось на 27,3%.

Исходя из таблицы 9, можно объединить по типу все аварийные отключения.

Таблица 10 – Типы аварийных отключений

Причины отключения	Количество в год	%
Птицы	2	2,30
Молнии	10	11,49
Обрыв линии	2	2,30
Взрывы (изоляторы)	20	22,99
Некачественные услуги ПАО РОССЕТИ	5	5,75
Просадка напряжения	45	51,72
Внештатные ситуации	3	3,45

Наглядное представление причин отключений представлена на рисунке 3.

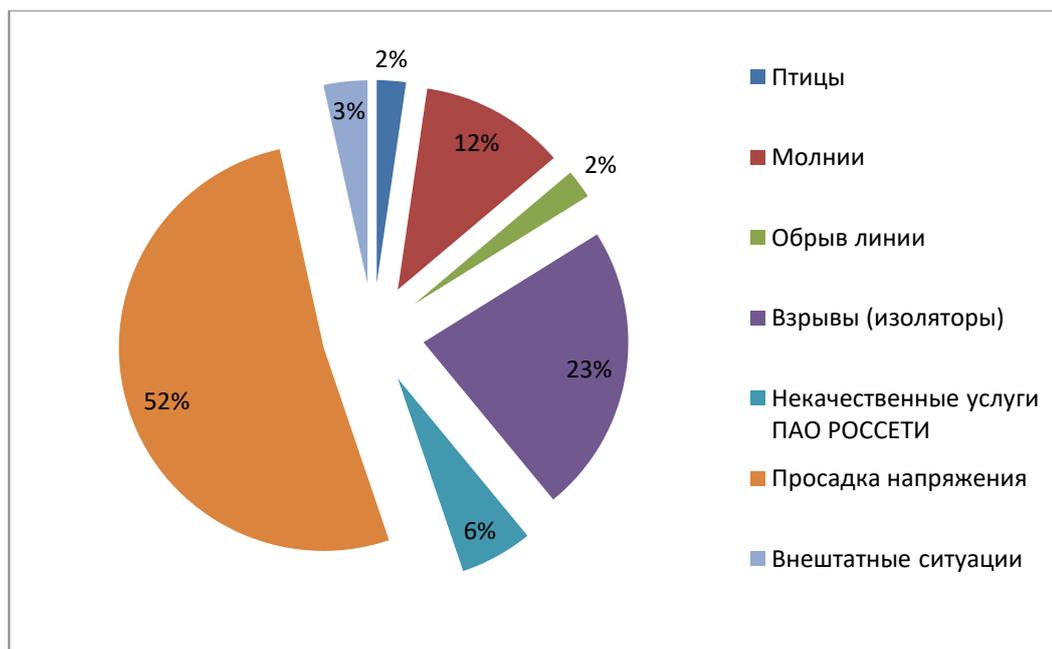


Рисунок 3 – Причина аварийных отключений на участке Майхрыхский

Как видно из представленной диаграммы основная причина отключений является просадка напряжения – 51,72%. На втором месте по частоте аварийных отключений – взрывы - 23%, на третьем месте по частоте молнии – 12%. В 6% случаев причиной аварийных отключения являются некачественные услуги ПАО Россети. Внештатные ситуации являются причиной аварийных отключений в 3% случаев, птицы и обрыв линии – в 2% случаев.

Причины отключения подстанций можно разделить на несколько видов отключений:

- причины природного характера;
- причины технического характера;
- качество электроэнергии.

Рассмотрим каждую причину отдельно.

Диаграмма причин природного характера представлена на рисунке 4.

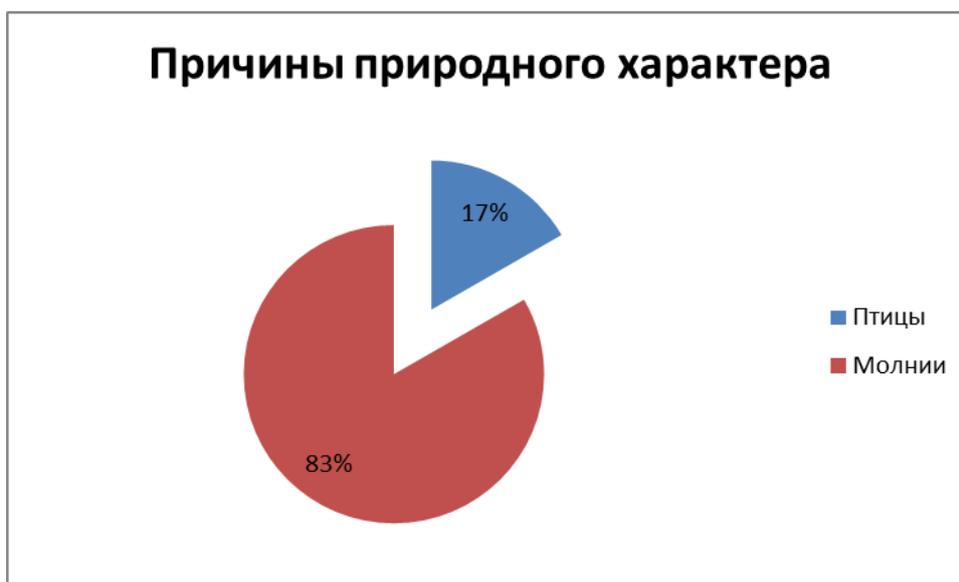


Рисунок 4 – Диаграмма причин природного характера

Как видно из диаграммы основная доля отключений приходится на молнии – 83%, причины аварийных отключений от птиц составляют 17%.

Диаграмма причин технического характера представлена на рисунке 5.

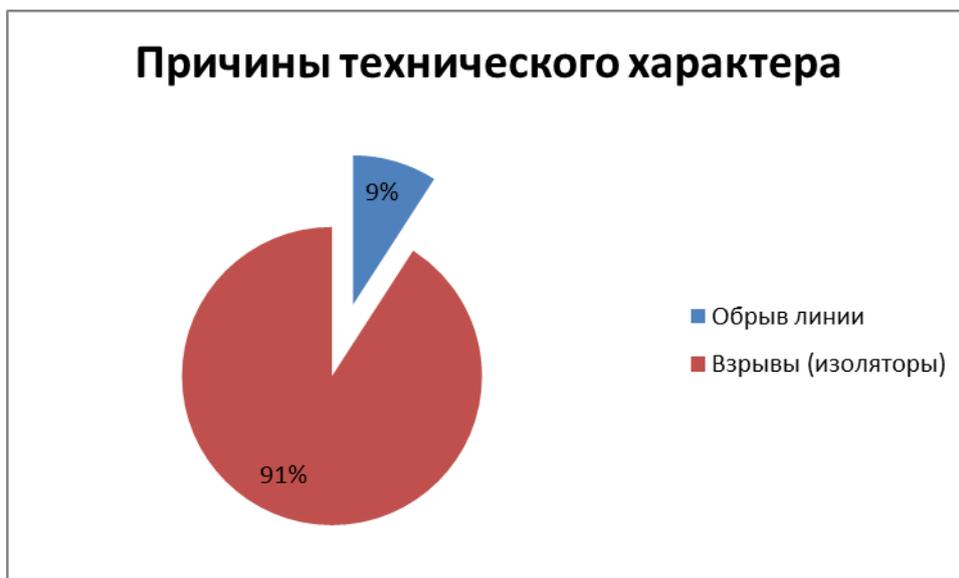


Рисунок 5 – Диаграмма причин технического характера

Как видно из диаграммы основная доля отключений приходится на взрывы изоляторов – 91%, 9% аварийных отключений приходится на обрыв линии.

Диаграмма отключений из-за качества электроэнергии представлена на рисунке 6.

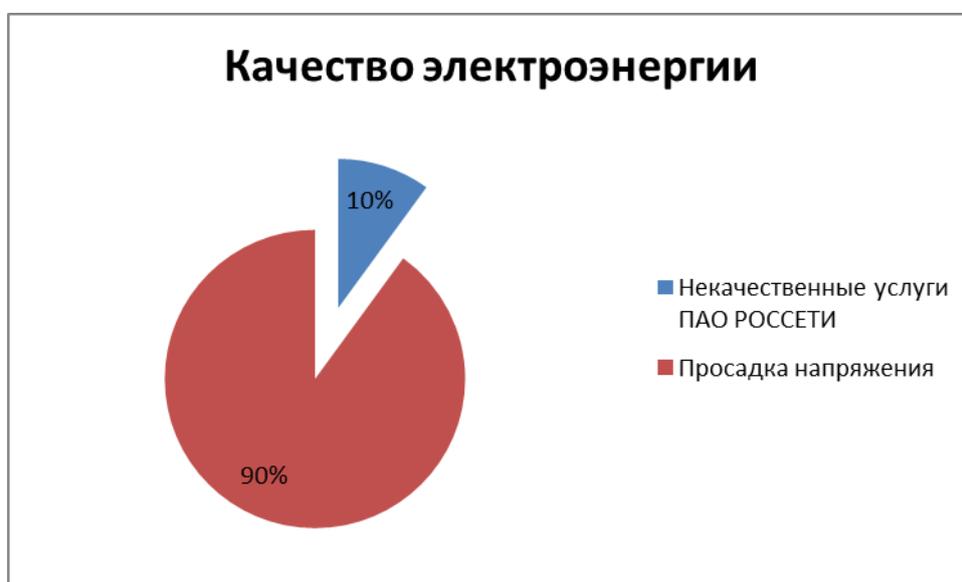


Рисунок 6 – Диаграмма отключений из-за качества электроэнергии

Как видно из диаграммы основная доля отключений приходится на просадку напряжения – 90%, остальные 10% причин из-за качества электроэнергии составляют некачественные услуги ПАО «Россети».

Из приведённых диаграмм можно сделать вывод, что основными причинами отключения подстанции являются:

- молнии;
- взрывы изоляторов;
- просадка напряжений.

Рассмотрим причины отключений по оперативному журналу отключений участка «Майрыхский». Диаграмма причин отключений представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Диаграмма причин отключений

Из диаграммы отключений видно, что наибольший процент отключений приходится на причину «Технологическая ошибка запуска» - 26%. Затем следуют причины природного характера: «Удар молнии» - 22% и «Птицы» - 19%.

Таблица 11 – Динамика основных причин аварийных отключений за 2021-2023 гг.

Причины аварийных отключений	2021 г.		2022 г.		2023 г.	
	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
Причины природного характера	4	50	4	36,4	5	62,5
Причины технического характера	3	37,5	6	54,5	3	37,5
Конструкционные причины	1	12,5	1	9,1	0	0

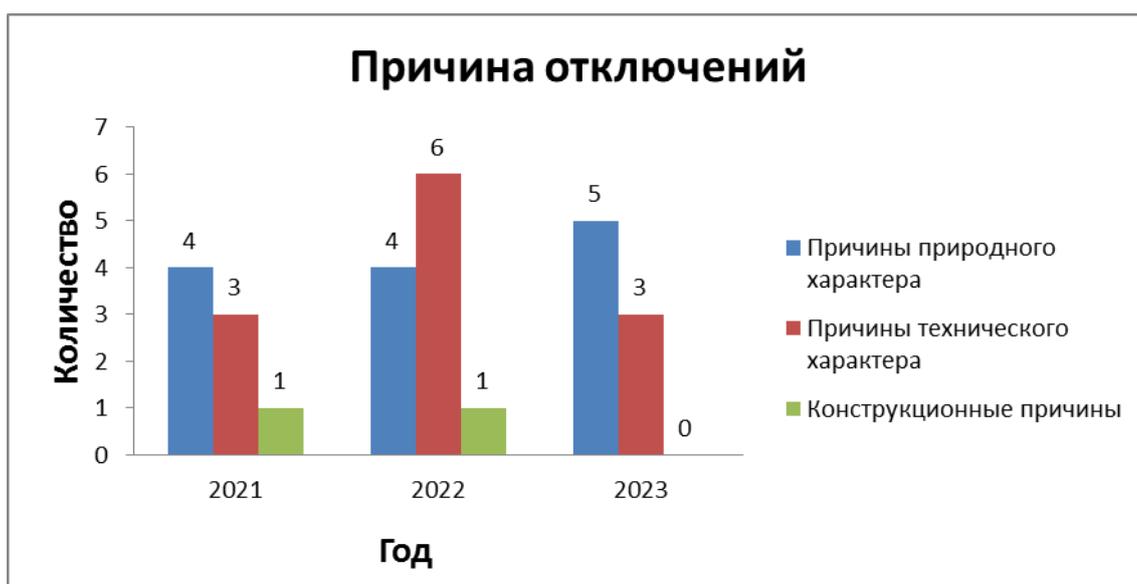


Рисунок 8 – Диаграмма основных причины аварийных отключений

Из таблицы 11 и диаграммы 8 видно, по причине природного характера количество отключений в 2022 году уменьшилось на 13,6% по сравнению с 2021 годом и увеличилось на 26,1% в 2023 году по отношению к 2022 году.

По причине технического характера аварийных отключений пик отключений наблюдался в 2022 году – 54,5% (от общего числа отключений в 2022 году), в последующем году снизился и составил 37,5% (от общего числа отключений) что сравнимо с 2021 годом.

Отключения по конструкционным причинам составили 12,5% и 9,1% соответственно в 2021 и 2022гг. В 2023 отключения по конструкционным причинам не наблюдались.

Рассмотрим количество отключений объектов по их наименованию. Данные представлены в таблице 12 и диаграмме 9.

Таблица 12 – Количество отключений объектов по их наименованию

Объект	Кол-во	%
Линия двухцепная	12	44,4
КТП	5	18,5
FGX 48A	7	25,9
Подстанция 35/10 кВ «Майрыхская»	3	11,1



Рисунок 9 – Диаграмма отключений объектов по их наименованию

Из таблицы 12 и диаграммы 9 следует, что наибольшее число отключений – 44,4 % приходится на двухцепные линии, наименьшее на подстанцию 35/10 кВ «Майрыхская» - 11,1%. При этом на долю «КТП» и транспортируемая установка по сортировке сыпучих материалов FGX 48A приходится 18,5 и 25,9% соответственно.

Проанализируем причины отключений объектов энергетической системы в зависимости от причин отключений. Данные представлены в таблице 13 и диаграмме 10.

Таблица 13 – Количество отключений объектов по их наименованию зависимости от причины отключений

Причины	Линия двухцепная		FGX 48A		КТП		Подстанция	
	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
Причины природного характера	6	50	0	0	4	80	3	100
Причины технического характера	5	41,7	7	100	0	0	0	0
Конструкционные причины	1	8,3	0	0	1	20	0	0



Рисунок 10 – Диаграмма количество отключений объектов по их наименованию зависимости от причины отключений

Из таблицы 13 и диаграммы 10 можно сделать вывод, что для двухцепной линии наиболее характерны отключения, связанные с причинами природного и технического характера 50 и 41,7% соответственно.

Для установки FGX 48A отключений связаны только с техническими причинами, как и для подстанции 35/10 кВ «Майрыхская» все отключения обусловлены причинами природного характера.

Для «КТП» наибольшее число отключений связано с причинами природного характера – 80%, 20% приходится на конструкционные причины отключений. Отключения, связанные с техническими причинами, не наблюдались.

### 2.3. Выявление основных причин аварийных ситуаций

Молния может быть причиной отключения электроподстанции, если удар молнии вызывает повреждение оборудования, включая трансформаторы, реле защиты, провода и другие компоненты электросети. Молния может также вызвать короткое замыкание или перегрузку системы, что в свою очередь приводит к отключению электроподстанции.

Птицы могут стать причиной отключения электроподстанции, особенно если они садятся на провода или другие части электрических систем. Когда птица садится на провод, она может создать короткое замыкание, что может привести к отключению электроподстанции. Кроме того, в некоторых случаях птицы могут стать жертвами электрических ударов, вызванных их соприкосновением с проводами.

Обрыв линии электропередач действительно может быть одной из наиболее распространенных причин отключения электроподстанции. Обрыв линии может произойти по различным причинам, включая погодные условия, повреждение оборудования, аварии или внешние воздействия.

Например, сильный ветер, снегопад или гроза могут привести к повреждениям линий электропередач и их обрыву. Также обрывы могут произойти из-за аварий на подстанциях или неправильной эксплуатации оборудования.

Электроизоляторы играют важную роль в электрических системах, предотвращая короткое замыкание между проводами и заземлением. Однако, они могут стать причиной отключения электроподстанции, если происходит их взрыв или повреждение.

Взрывы электроизоляторов могут происходить из-за различных причин, таких как перегрев изолятора, механические повреждения, загрязнение или накопление влаги. Это может привести к разрыву изолятора и возникновению дуги, что может вызвать пожар или повреждение оборудования.

В результате взрыва электроизолятора, электроподстанция может быть отключена из-за сбоя в электрической системе, потери электрической мощности или для предотвращения дальнейших повреждений. После такого инцидента необходимо провести расследование, чтобы выяснить причину взрыва и принять меры для предотвращения подобных ситуаций в будущем.

Некачественная поставка электроэнергии может привести к отключению электроподстанции из-за нестабильного напряжения, скачков

напряжения, перегрузок или коротких замыканий. Это может быть вызвано различными причинами, такими как сбои в работе оборудования, повреждение линий передачи, неправильная настройка оборудования и другие технические проблемы.

Просадка напряжения может быть одной из причин отключения электроподстанции. Просадка напряжения происходит, когда напряжение в электрической сети снижается ниже допустимого уровня. Это может быть вызвано различными факторами, такими как перегрузка сети, короткое замыкание, дефекты в оборудовании или скачки нагрузки.

Последствия просадки напряжения могут быть серьезными, включая отключение электрооборудования, прерывание работы производственных процессов и повреждение электрических устройств.

2.4. Анализ существующих методов предотвращения аварийных отключений.

Для защиты электроподстанций от ударов молнии используются различные меры, такие как молниезащита, грозозащита и защитные устройства. Однако, даже при наличии таких мер, молния все равно может вызвать отключение электроподстанции, особенно в случае сильной бури и мощного удара молнии.

Для ситуаций, когда птица, садится на провод электроподстанции, провода обычно защищены изоляцией и другими средствами, чтобы предотвратить случайные короткие замыкания. Ряд мероприятий могут быть предприняты для создания условий, при которых птицы меньше подвержены риску контакта с электрическими проводами, таких, как установка изоляторов и использование специальных защитных средств.

Когда происходит обрыв линии электропередач, это может вызвать отключение электроподстанции, так как обрыв прерывает поток электроэнергии через систему. Чтобы предотвратить подобные ситуации,

провода часто защищены различными средствами, такими как предохранители, молниезащита и другие устройства, которые помогают минимизировать риск обрывов линий. В случае обрыва, службы по эксплуатации и обслуживанию электропередач сразу приступают к работе по восстановлению работы системы.

Для предотвращения взрывов электроизоляторов необходимо регулярно проверять состояние изоляторов, поддерживать их в чистоте и исправности, а также следить за условиями эксплуатации и стабильностью электрических систем.

Некачественная поставка электроэнергии требуют быстрого реагирования со стороны энергоснабжающей компании, чтобы предотвратить возможные аварии и минимизировать негативные последствия для потребителей. Важно проводить регулярное обслуживание и проверки оборудования, а также быстро реагировать на любые отклонения в качестве поставляемой электроэнергии.

Для предотвращения отключения электроподстанции в случае просадки напряжения, важно обеспечить надлежащее техническое обслуживание оборудования, мониторинг и контроль за нагрузкой, а также использование защитных устройств, таких как автоматические выключатели и стабилизаторы напряжения. Также важно проводить регулярные проверки электрических сетей, чтобы выявлять и устранять возможные проблемы.

На основании выше проведенного анализа можно определить количество неопределенности информации.

Неопределенность информации отражает наличие хаоса (непредвиденных отказов, отключений) в электрических сетях. В качестве меры, которая характеризует неопределенность информации, принимается информационная энтропия, предложенная К. Шенноном:

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i$$

При условии

$$\sum_{i=1}^N p_i = 1 \quad (1)$$

где

$N$  – количество рассматриваемых событий в системе,

$p_i$  – вероятность появления  $i$ -го события.

Для определения энтропии необходимо построить дискретный ансамбль статистических данных, как это, например, предложено в работе [7]. Значения ансамбля и результаты расчетов (см. табл. 14), получены следующим образом.

Согласно журнала диспетчера выделено 8 причин, приводящих к отключению ЛЭП (среди которых представлены и не выявленные причины). По каждому году определено количество рассматриваемых причин:

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_8$$

где  $n_i$  – количество отказов  $i$ -го вида отказа ( $n_1$  – взрыв горной массы и т.д.).

На их основе определены вероятности отказа ЛЭП по формуле:

$$q_i = \frac{n_i}{N}$$

где  $q_i$  – вероятность отказа ЛЭП ( $q_1$  – вероятность отказа от взрыве горной массы и т.д.).

Для всех  $q_i$  выполнено условие (1).

Через вероятности  $q_i$ , по формуле Шеннона (1) определена энтропия для каждого из событий  $i$ :

$$H_i = - \sum_{i=1}^N q_i \log_2 q_i$$

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

$$H_i = \sum_{i=1}^N H_i$$

Таблица 14 – Исходные данные и результаты расчетов

Год	Показатели	Взрыв горной массы	Ослабление гильзового соединения СИП	Перетяжка пролета	Подмывание опоры	Пробой изоляторов трансформатора напряжения	Птицы	Технологическая ошибка запуска	Удар молнии	Итого
2021	$n_i$	1	1	1	1	—	—	1	3	
	$q_i$	0,125	0,125	0,125	0,125	—	—	0,125	0,375	
	$H_i$	0,375	0,375	0,375	0,375	—	—	0,375	0,531	2,406
2022	$n_i$	2	—	1	—	1	3	3	1	
	$q_i$	0,182	—	0,091	—	0,091	0,273	0,273	0,091	
	$H_i$	0,447	—	0,314	—	0,314	0,511	0,511	0,314	2,413
2023	$n_i$	—	—	—	1	—	2	3	2	
	$q_i$	—	—	—	0,125	—	0,25	0,375	0,25	
	$H_i$	—	—	—	0,375	—	0,5	0,531	0,5	1,906

На основе данных из таблицы 14 можно построить график информационной энтропии.

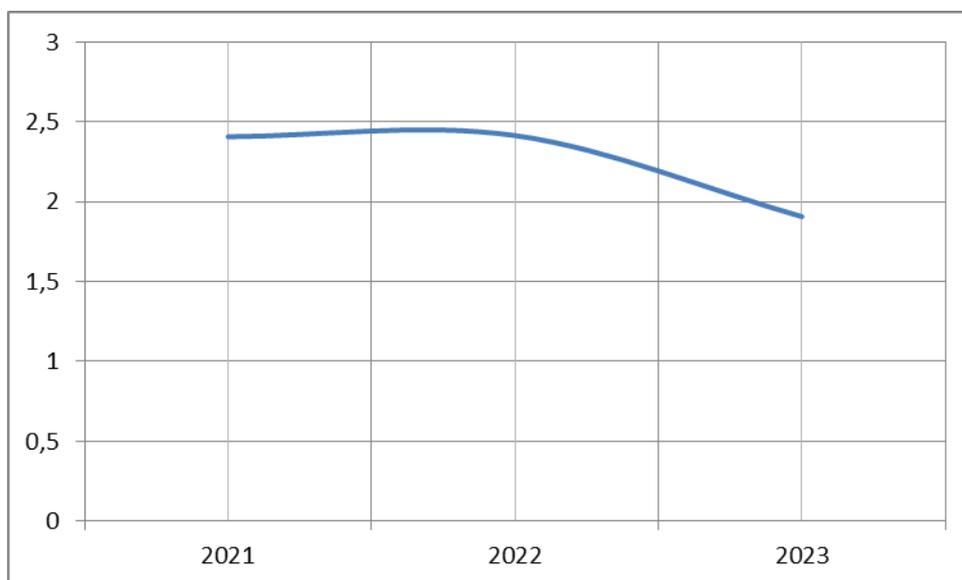


Рисунок 11 – График информационной энтропии

Из графика видно, что энтропия в 2023 уменьшилась по сравнению с предыдущими годами, это означает, что в 2023 году уменьшилось количество причин отключений объекта.

### **3. Мероприятия по оптимизации работы подстанции ООО «Угольная Копания Разрез Майрыхский»**

#### **3.1. Разработка стратегии предотвращения аварийных ситуаций.**

В настоящее время выбор объема релейной защиты и автоматики (РЗА) и расчета уставок релейной защиты (РЗ) производится, как правило, без какого-либо экономического обоснования, в соответствии с усредненными типовыми решениями, а также личным опытом и предпочтениями проектировщика и заказчика. Такой подход значительно упрощает проектирование и эксплуатацию устройств РЗ, но имеет и ряд отрицательных моментов:

- невозможно создать быстродействующую селективную чувствительную РЗ с зоной резерва;
- предъявляемые требования к РЗ противоречат друг другу и необходимо определять их приоритетность;
- разнообразие нагрузок может требовать разных решений по РЗ;
- часто остаётся открытым вопрос о количестве и качестве резервных защит;
- развитие микропроцессорных защит дало возможность применения практически любого типа РЗ с примерно одинаковой стоимостью;
- трудности при технико-экономическом обосновании модернизации и реконструкции РЗ.

В результате экономическая оценка эффективности той или иной защиты сводится к простейшему случаю, когда считается, что стоимость подсистемы РЗА должна составлять 5 – 20% от стоимости сети.

Однако конечной целью разработки, создания и эксплуатации РЗ является повышение надёжности и эффективности функционирования как самой электрической сети, так и электроснабжения потребителей, что приводит к снижению ущерба как при разного рода отказах элементов электрической сети, так и при отказах и ложных срабатываниях устройств

РЗ. Поскольку абсолютной надежности любой технической системы добиться невозможно, необходимо минимизировать возможный ущерб, совершенствуя устройства, принцип действия и алгоритмы работы РЗ.

Степень остроты проблемы обеспечения требуемой эффективности средств РЗ определяется, прежде всего, их назначением и сложностью. При этом наиболее рекомендуемыми методами повышения эффективности РЗ являются:

- применение высоконадёжных комплектующих изделий;
- применение схем, выходные параметры которых мало чувствительны к изменениям характеристик их элементов;
- применение специальной защиты систем РЗ и её элементов от воздействия дестабилизирующих внешних факторов;
- резервирование элементов и блоков систем РЗ;
- проведение профилактических проверок технического состояния РЗ;
- анализ возникших неисправностей для выявления и доработки недостаточно надёжных комплектующих изделий, схем, узлов;
- прогнозирование отказов систем, блоков и отдельных элементов РЗ;
- поддержание необходимой квалификации обслуживающего персонала;
- разработка и применение новых алгоритмов работы и методик расчета уставок РЗ.

Разработка стратегии предотвращения аварийных ситуаций на электроподстанции включает в себя следующие шаги:

Анализ рисков и уязвимостей электроподстанции.

Необходимо провести анализ всех возможных угроз и рисков, которые могут привести к аварийным ситуациям на подстанции. Это могут быть технические сбои, человеческие ошибки, природные катастрофы и т.д.

Анализ рисков и уязвимостей электроподстанции является важным этапом в разработке стратегии предотвращения аварийных ситуаций. В процессе анализа необходимо учитывать различные аспекты, такие как

техническое состояние оборудования, качество обслуживания, квалификация персонала, климатические условия и т.д.

Основные риски и уязвимости, которые могут возникнуть на электроподстанции, включают в себя следующее:

1. Отказ оборудования: неисправность и поломка оборудования может привести к отключению электроснабжения и возникновению аварийных ситуаций. Оперативное обслуживание и регулярное техническое обслуживание снижают риск таких ситуаций.
2. Недостаточная квалификация персонала: некомпетентный персонал может допустить ошибки в работе, что также может повлечь за собой аварийные ситуации. Обучение и подготовка персонала должны быть в приоритете.
3. Климатические условия: экстремальные погодные условия, такие как ураганы, сильные дожди, снегопады и молнии, могут повредить оборудование и привести к аварийным ситуациям. Необходимо принимать меры по защите оборудования от воздействия природных факторов.
4. Несанкционированный доступ: вторжение на территорию электроподстанции или к серверным помещениям может привести к саботажу или краже оборудования, что также может вызвать аварийные ситуации. Система контроля доступа и видеонаблюдение помогут уменьшить риск подобных ситуаций.
5. Нарушение безопасности при эксплуатации: недостаточное соблюдение техники безопасности и правил эксплуатации оборудования может привести к аварийным ситуациям, включая пожары и травмы персонала. Обучение сотрудников и проведение регулярных проверок помогут предотвратить такие случаи.

В целом, для разработки стратегии предотвращения аварийных ситуаций на электроподстанции необходимо систематически проводить анализ рисков и уязвимостей, устранять выявленные проблемы и внедрять меры по их предотвращению. Это позволит минимизировать вероятность

возникновения аварийных ситуаций и обеспечить надежную работу электроподстанции.

Разработка плана действий в случае аварии.

Необходимо разработать подробный план действий, который будет описывать шаги, которые необходимо предпринять в случае возникновения аварийной ситуации. План должен быть доступен всем сотрудникам и должен регулярно проверяться, и обновляться.

Шаги для составления плана для каждой аварийной ситуации представлен ниже.

1. Определить потенциальные аварийные ситуации, которые могут возникнуть на электроподстанции, и провести анализ рисков.
2. Разработать план действий для каждой потенциальной аварийной ситуации, включая процедуры эвакуации персонала, отключения оборудования и связи с экстренными службами.
3. Обеспечить подготовку персонала к действиям в случае аварии, проведя обучающие тренировки и учения.
4. Установить систему мониторинга и контроля оборудования на электроподстанции для раннего обнаружения потенциальных проблем.
5. Обеспечить наличие необходимого оборудования и материалов для быстрого реагирования на аварийные ситуации.
6. Организовать систему ротации и дежурств среди персонала для обеспечения оперативной реакции в случае аварии.
7. Провести регулярные проверки и тестирования систем безопасности на электроподстанции для обеспечения их надежного функционирования.
8. Вести постоянный мониторинг состояния оборудования и инфраструктуры электроподстанции для своевременного выявления потенциальных угроз и предотвращения аварийных ситуаций.
9. Разработать планы эвакуации и меры по минимизации последствий аварии для защиты персонала и окружающей среды.

10. Провести регулярные аудиты и ревизии систем безопасности на электроподстанции для постоянного улучшения и совершенствования стратегии предотвращения аварийных ситуаций.

Проведение регулярного обследования и технического обслуживания оборудования. Регулярная проверка и обслуживание оборудования на подстанции поможет выявить потенциальные проблемы до их возникновения, что позволит предотвратить аварийные ситуации.

Регулярное обследование и техническое обслуживание оборудования на электроподстанции играют важную роль в предотвращении аварийных ситуаций и обеспечении нормального функционирования системы электроснабжения. Данные мероприятия помогут выявить и устранить потенциальные проблемы и дефекты, которые могут привести к авариям.

Для проведения обследования и обслуживания оборудования необходимо разработать план действий и расписание проведения работ. Это включает в себя регулярные проверки состояния оборудования, выявление и устранение изношенных деталей, замену неисправных компонентов, проведение необходимых профилактических мероприятий.

Кроме того, важно организовать систему мониторинга состояния оборудования, что позволит оперативно реагировать на возможные отклонения и предотвращать возможные аварийные ситуации.

Проведение регулярного обследования и технического обслуживания оборудования на электроподстанции является ключевым элементом стратегии по предотвращению аварийных ситуаций и обеспечению бесперебойной работы электроснабжения. Данные меры позволят обеспечить надежность и безопасность работы электрооборудования, а также увеличить срок его службы.

Обучение персонала. Все сотрудники, работающие на электроподстанции, должны быть обучены правилам безопасности и процедурам предотвращения аварийных ситуаций. Регулярные тренировки и учебные курсы помогут повысить уровень подготовки персонала.

Обучение персонала при разработке стратегии предотвращения аварийных ситуаций на электроподстанции - ключевой компонент безопасности работы электроэнергетики. Вот несколько шагов, которые могут быть включены в такое обучение:

1. Систематический просмотр рисков: Эффективная стратегия предотвращения аварийных ситуаций начинается с анализа рисков. Обучение персонала в области идентификации потенциальных угроз, как например, короткое замыкание, перегрузка сети, выпадение кабелей и других проблем, поможет создать осведомленную команду.

2. Обучение процедурам технического обслуживания: Регулярные инспекции, проверки и техническое обслуживание оборудования и сетей являются фундаментальными для предотвращения аварийных ситуаций. Обучение персонала в области правильных процедур технического обслуживания и ведения журналов обслуживания может помочь предотвращать множество потенциальных аварийных ситуаций.

3. Реагирование на аварийные ситуации: Очень важно обучить персоналу правильным действиям в случае возникновения аварийной ситуации на электроподстанции, включая эвакуацию, использование средств защиты и экстренные процедуры.

4. Знание законодательства и стандартов: Понимание правил и регуляций, касающихся электробезопасности, других законов и стандартов, также является важной частью обучения персонала.

Обучение персонала повышает осведомленность и готовность к предотвращению аварийных ситуаций. Важно также регулярно проводить обучающие семинары, тренинги и учения, чтобы хорошо подготовить персонал к действию в критических ситуациях.

Реагирование на предупреждения и сигналы о возможных проблемах. Необходимо установить систему мониторинга и предупреждения, которая будет оповещать сотрудников о возможных проблемах и помогать им быстро реагировать на них.

Система мониторинга при разработке стратегии предотвращения аварийных ситуаций на электроподстанции должна включать в себя следующие компоненты:

1. Мониторинг оборудования: это включает в себя постоянный мониторинг состояния оборудования на подстанции, такого как трансформаторы, выключатели, генераторы и другое оборудование. Это позволяет операторам подстанции предсказать возможные отказы и принимать меры по их предотвращению.

2. Мониторинг сети: система должна отслеживать состояние сети электропередачи, чтобы обнаруживать проблемы с напряжением, частотой и другими параметрами, которые могут привести к аварийным ситуациям.

3. Анализ данных: собранные данные должны анализироваться для выявления повторяющихся проблем или трендов, которые могут привести к аварийным ситуациям. Это поможет разработать стратегию по предотвращению этих проблем.

4. Системы автоматического управления: в случае обнаружения потенциальной аварийной ситуации, система должна иметь возможность автоматически принимать меры для предотвращения возможного отказа.

5. Визуализация данных: операторам подстанции должна быть предоставлена возможность визуализации данных о состоянии оборудования и сети, что позволит им быстро реагировать на потенциальные проблемы.

Разработка подобной системы мониторинга позволит улучшить оперативное управление электроподстанцией и предотвращать аварийные ситуации до их возникновения.

Эти шаги помогут разработать эффективную стратегию предотвращения аварийных ситуаций на электроподстанции и обеспечить безопасную работу оборудования и персонала.

6. Для улучшения надежности заменим разрядник вентильный РВО на трансформаторной подстанции на ограничитель напряжений ОПН - 10 кВ. Разрядник вентильный РВО-10 кВ (рисунок 12) представляет собой

защитный аппарат опорно-подвесного исполнения, содержащий последовательно соединенные искровые промежутки и резисторы, заключенные в герметичный фарфоровый корпус, надежно защищающий внутренние элементы разрядника от воздействия внешней среды в течение всего срока эксплуатации. Защитное действие разрядника обусловлено нелинейной вольтамперной характеристикой резистора, а именно резким уменьшением его сопротивления при импульсных перенапряжениях. Поэтому при появлении опасного для изоляции электрооборудования импульсе перенапряжения через разрядник протекает значительный импульсный ток, а напряжение сети снижается до уровня, безопасного для изоляции защищаемого оборудования. Исходя из исполнения, на каждом КТПН должно быть установлено ОПН -10 кВ в количестве 3 штук (рисунок 13).



Рисунок 12 – Разрядник вентильный

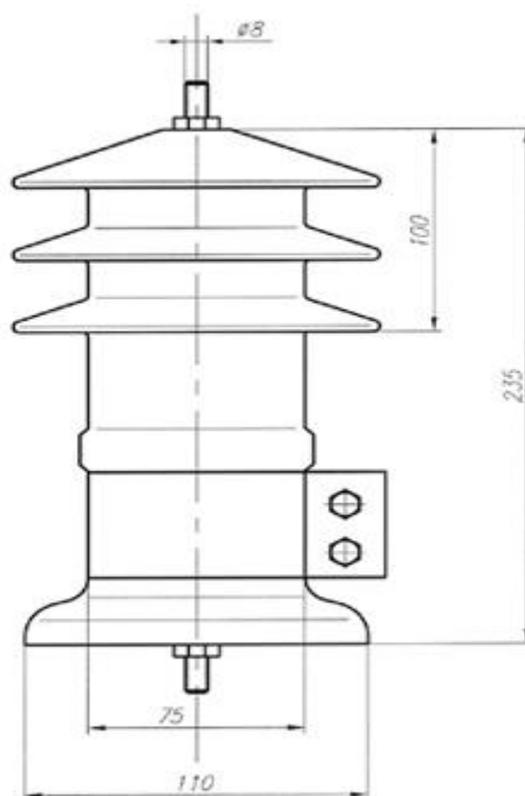


Рисунок 13 – ОПН-10 Ограничитель перенапряжений

Ограничители перенапряжений этой серии предназначены для защиты электрооборудования в сетях с изолированной нейтралью, напряжением 10 кВ. Для ОПН данной серии предлагается выбор наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения из диапазона от 9,5 до 13,7 кВ с шагом 0,1 кВ.

ОПН-10 характеризует:

- Герметичный корпус из электротехнического фарфора;
- Стойкость к климатическим и химическим воздействиям;
- Большой выбор модификаций по току пропускной способности и энергоемкости;
- Пошаговая система контроля качества, с полным входным контролем материалов и контролем сборочных операций;
- Невоспламеняемость внешней изоляции;
- Оптимальное соотношение цены и качества.

ОПН-10 самовосстанавливаются от различных внештатных ситуаций, при грозе. Поскольку у нас КТПН – 14 шт., на потребуется  $14 * 3 = 42$  ОПН-10 кВ.

7. Для защиты элементов мачтового коммутационного оборудования, находящихся под электрическим потенциалом, установим птицевозащитные устройства (ПЗУ 6-10-ЛК) (рисунок 14) в количестве 25 шт. Изолирующие ПЗУ представляют собой защитные кожухи из электроизоляционного материала, предотвращающие одновременное прикосновение птиц к элементам ВЛ под напряжением и к заземленным элементам оборудования. ПЗУ данного типа устанавливаются непосредственно на токоведущие элементы и обеспечивают дополнительную изоляцию открытых проводников и клемм, снижая риск возникновения аварий, вызванных птицами.

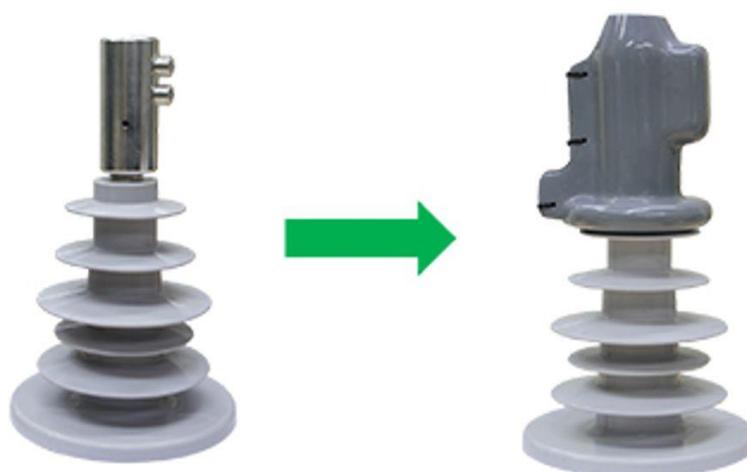


Рисунок 14 – ПЗУ 6-10-ЛК изолирующего типа

Птицевозащитные устройства изолирующей категории используют для защиты птиц любого размера. Конструкция необходима для предупреждения попадания электрического тока на птиц. Устанавливается на электростанции воздушных линий. Устройства подходят для работы с напряжением от 6 до 35 кВ. Материал допускает установку практически на все виды опор – поворотная, анкерная, промежуточная, конечная, повышенная или дополнительная опора.

8. Для увеличения мощности и уменьшения потерь напряжения, высоковольтный трансформатор ТМН 4000/35/10 (рисунок 15) поменять на высоковольтный трансформатор ТМН 6300/35 У1 (рисунок 16).



Рисунок 15 – Трансформатор ТМН 4000/35/10

Силовой масляный трехфазный трансформатор мощностью 4000 кВА на напряжение 35 кВ ВН и 10,5 кВ НН с регулировкой напряжения под нагрузкой (РПН) предназначен для поддержания постоянного уровня напряжения в сетях. Такие масляные трансформаторы устанавливаются на распределительных подстанциях крупных промышленных предприятий, сетевых компаний, энергоемких объектов.



Рисунок 16 – Трансформатор ТМН 6300/35 У1

Трансформатор силовой, трехфазный, двухобмоточный, с естественной циркуляцией масла, с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН). Автоматическое управление осуществляется от автоматического контроллера, поставляемого вместе трансформатором. Предназначен для работы в системах передачи электроэнергии на большие расстояния, обеспечивая при этом минимальные электрические потери в линиях электропередач. Применение трансформатора типа ТМН позволяет обеспечить потребителю надежное электроснабжение в течение всего срока эксплуатации.

Трансформатор имеет остов с трехстержневой, шихтованной магнитной системой, собранной из листов холоднокатаной электротехнической, стали. Обмотки слоевые цилиндрические из алюминиевого провода размещены на стержнях остова концентрической. Трансформатор снабжен вводами ВН и вводами НН. Линейные вводы ВН снабжены трансформаторами тока. Система охлаждения состоит из восьми радиаторов. Бак трансформатора с верхним разъемом снабжается арматурой

для заливки, отбора проб, слива и фильтрации масла, подключения системы охлаждения и вакуум-насоса. Расширитель служит для компенсации температурного расширения трансформаторного масла. Регулирование напряжения под нагрузкой осуществляется переключающим устройством в обмотке ВН в пределах  $\pm 4 \times 2,5\%$  номинального напряжения.

- Номинальная мощность трансформатора, кВ·А – 6300.
- Номинальное напряжение обмоток, кВ: ВН - 35 НН - 6,3 или 11.
- Схема и группа соединения обмоток - У/Д-11.
- Частота питающей сети, Гц – 5.
- Вид, диапазон и количество ступеней регулирования напряжения на стороне ВН -  $\pm 4 \times 2,5\%$ .
- Потери холостого хода, кВт -  $8 \pm 15\%$ .
- Потери короткого замыкания, кВт -  $46,5 \pm 10\%$ .
- Ток холостого хода, % -  $0,8 \pm 30\%$ .
- Напряжение короткого замыкания, % -  $7,5 \pm 10\%$ .
- Масса, кг: полная – 16400, транспортная – 11900.
- Гарантийный срок эксплуатации трансформатора - 3 года.

В результате предложенных мероприятий, количество аварийных отключений, уменьшится в 2 раза.

3.2. Затраты предприятия на предложенные мероприятия по снижению количества аварийных отключений.

В таблице 15 приведена проектная стоимость предлагаемого оборудования.

Таблица 15 – Проектные затраты на закупку оборудования для снижения аварийных отключений на предприятии

Наименование	Тип	Ед. измерения	Кол-во	Стоимость	
				за единицу, руб.	С учетом количества, руб.
Ограничитель напряжения	ОПН-10	шт.	42	3 567	149 814
2. Птицезащитное устройство	ПЗУ 6-10-ЛК	шт.	25	8 920	223000
3. Трансформатор ТМН 6300/35 У1	ТМН 6300/35 У1	шт.	1	423 000	423 000
Всего:					795 814

Таблица 16 – Проектные затраты на заработную плату

Наименование	Тип	Ед. измерения	Кол-во часов	Стоимость	
				за единицу, руб.	С учетом количества, руб.
1.Ограничитель напряжения	ОПН-10	шт.	24,2	5 671	137 238
2. Птицезащитное устройство	ПЗУ 6-10-ЛК	шт.	6,9	3 450	23 805
3. Трансформатор ТМН 6300/35 У1	ТМН 6300/35 У1	шт.	12,6	9 110	114 786
Всего:					275 829

Определяется величина премии за качественное и количественное выполнение работ. Премия начисляется в размере 20% от тарифной ставки по формуле:

$$C \text{ прем.} = C \text{ тариф.} * 20\%; \quad (2)$$

$$C \text{ прем.} = 275\,829 * 20\% = 55\,166 \text{ руб.}$$

Определяем основную заработную плату рабочих по формуле:

$$Z_{осн} = \sum Z_{п} + C_{пр}; \quad (3)$$

$$Z_{осн} = 275\,829 + 55\,166 = 330\,995 \text{ руб.}$$

Определяем дополнительную заработную плату (4):

$$\text{Здоп} = 0,15 * \text{Зосн.} = 330\,995 * 0,15 = 49\,649 \text{ руб.}$$

$$\text{Общие затраты} = \text{Зосн} + \text{Здоп}; \quad (5)$$

$$\text{Общие затраты на заработную плату} = 330\,995 + 49\,649 = 380\,644 \text{ руб.}$$

Таблица 17 - Общие затраты на заработную плату при совершенствовании энергоснабжения

Показатели	Величина затрат, руб.
Заработная плата тариф.	275 829
Премии	55 166
Основная заработная плата	330 995
Дополнительная заработная плата	49 649
Общие затраты на заработную плату с учетом уплаты налогов (30,2 % налог)	495599

Определяем затраты на транспортировку оборудования. Они составляют 5 % от общих затрат и определяются по формуле 6:

$$\text{Затраты тр.} = \text{Общие затраты на закупку оборудования} * 5\%; \quad (6)$$

$$\text{Затраты тр.} = 795\,814 * 5\% = 39\,791 \text{ руб.}$$

Определяем затраты на монтаж оборудования. Они составляют 15 % от общих затрат и определяются по формуле 7:

$$\text{Затраты на монтаж} = \text{Общие затраты на закупку оборудования} * 15\%; \quad (7)$$

$$\text{Затраты тр.} = 795\,814 * 15\% = 119\,372 \text{ руб.}$$

Цеховые расходы определяются в размере 200% от основной заработной платы по формуле 8:

$$\text{С ц.р.} = \text{Зп осн.} \cdot 200\%; \quad (8)$$

$$\text{С ц.р.} = 330\,995 * 200\% = 661\,990 \text{ руб.}$$

Рассчитаем общезаводские расходы. Они определяются в размере 250% от основной заработной платы по формуле 9:

$$C_{\text{общ.з.р.}} = Z_{\text{п осн.}} \cdot 250\%; \quad (9)$$

$$C_{\text{общ.з.р.}} = 330\,995 \cdot 250\% = 827\,488 \text{ руб.}$$

Результаты произведенных вычислений сводятся в таблицу 18.

Таблица 18 - Смета затрат

Статьи затрат	Величина затрат, руб.
Стоимость оборудования	795 814
Транспортные расходы	39 791
Затраты на монтаж	119 372
Основная заработная плата	330 995
Дополнительная заработная плата	49 649
Общие затраты на заработную плату с учетом уплаты налогов (30,2 %)	495599
Цеховые расходы	661 990
Общезаводские расходы	827 488
Итого:	2 940 054

В результате проведенных расчетов определились общие затраты на проведение электромонтажных работ, определена основная и дополнительная заработная плата персонала производившего работы. Составлена смета затрат на покупку и транспортировку оборудования, которое необходимо для реализации проекта по снижению аварийных отключений.

### 3.3. Оценка ущерба от аварийных отключений

В состав прямого ущерба предприятия от аварийных отключений электроэнергии входят следующие составляющие:

- затраты на аварийно-восстановительные работы;
- компенсация вреда здоровью персонала;
- безвозвратные потери средств производства;
- недополучение выручки от аварийных отключений.

В таблице 19 представлен ущерб предприятия от аварийных отключений за 2021-2023 гг.

Таблица 19 - Ущерб предприятия от аварийных отключений за 2021-2023 гг.

Виды ущерба	2021	2022	2023	Темпы роста, %
Ущерб от аварийно-восстановительных работ, руб.	151 970	227 955	201 155	110,24
Компенсация вреда здоровью персонала, руб.	141 670	212 505	194 734	122,09
Безвозвратные потери средств производства, руб.	1 096 500	1 644 750	1 340 873	128,61
Недополучение выручки от аварийных отключений, руб.	1 140 000	1 710 000	1 456 723	146,21
Итого:	2 530 140	3 795 310	3 193 485	126,22

По данным таблицы видно, что общий ущерб от аварийных отключений вырос за 2021-2023 гг. – на 26,22%. При этом общий ущерб от аварийных отключений вырос в 2022 г. – в 1,5 раза по сравнению с 2021 г. В 2023 г. общий ущерб предприятия от аварийных отключений несколько снизился – на 15,16% по сравнению с 2022 г.

Недополучение выручки от аварийных отключений составляло от общего ущерба в 2021 г. – 44,81%, в 2022 г. – 59,44%, в 2023 г. – 48,66%.

Безвозвратные потери средств производства от аварийных отключений составляло от общего ущерба в 2021 г. – 40,86%, в 2022 г. – 30,81%, в 2023 г. – 39,03%.

Ущерб от аварийно-спасательных работ составляло от общего ущерба, в 2021 г. – 7,9%, в 2022 г. – 5,23%, в 2023 г. – 6,5%.

Ущерб от вреда здоровья персоналу от аварийных отключений составляло от общего ущерба: в 2021 г. – 6,35%, в 2022 г. – 4,52%, в 2023 г. – 5,81%.

3.3. Оценка экономической эффективности внедрения мероприятий по снижению аварийности потребителей подстанции.

Таким образом эффект от внедряемых мероприятий находим по формуле:

$$\text{Э} = \text{У} - \text{З}; \quad (10)$$

Где Э – эффект от мероприятий, руб.;

У – ущерб от аварийных отключений;

Затраты предприятия на внедрение мероприятий.

$$\text{Э} = 3\,193\,485 - 2\,940\,054 = 253\,431 \text{ руб.}$$

Рассчитав прогнозируемый годовой экономический эффект и учитывая прибыль от снижения технологических потерь в связи с уменьшением аварийных отключений, найдем срок за который окупится предлагаемый комплекс мероприятий, по формуле (11):

$$\text{Ток} = \text{К}/\text{Э}; \quad (11)$$

где К - затраты на внедрение предложенных мероприятий, руб.;

Э – годовой экономический эффект, руб.

$$\text{Ток} = 1\,285\,972/253\,431 = 5 \text{ лет.}$$

Таким образом, эффект от предложенных мероприятий очевиден. После проведенных расчетов, можно сделать вывод, что затраты на данные мероприятия, окупятся через 5 лет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных является неотъемлемой частью работы специалистов различных отраслей и позволяет добиться высоких результатов в бизнесе, науке, медицине и других областях. Поэтому, развитие навыков анализа данных становится все более актуальным и востребованным среди специалистов.

Проведенный анализ аварийных отключений на подстанции 35/10/0,4 кВ ООО «Угольная Компания Разрез Майрыхский» позволил выявить ряд проблемных аспектов, влияющих на надежность работы электрооборудования. Были выявлены основные причины аварийных ситуаций, включая внеплановые отключения, неисправности оборудования и недостаточное техническое обслуживание. Значительное внимание уделено анализу последствий аварийных ситуаций и их влиянию на производственные процессы и безопасность персонала.

На основе полученных результатов были предложены рекомендации по улучшению надежности работы подстанции, включая улучшение системы мониторинга оборудования, повышение квалификации персонала, улучшение процессов технического обслуживания и регулярное проведение профилактических работ.

Недополучение выручки от аварийных отключений составляло от общего ущерба в 2021 г. – 44,81%, в 2022 г. – 59,44%, в 2023 г. – 48,66%.

Реализация предложенных мер позволит снизить риск аварийных остановок, повысить надежность работы подстанции и обеспечить непрерывное электроснабжение потребителей.

Эффект от предложенных мероприятий очевиден. После проведенных расчетов, можно сделать вывод, что затраты на данные мероприятия, окупятся через 5 лет.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васильева, Т. Н. Надежность электрооборудования и систем электроснабжения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 152 с.: ил.
2. Воропай, Н. И. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике [текст]: / Н. И. Воропай, Г. Ф. Ковалёв, Ю. Н. Кучеров. – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. – 212с.
3. Гук, Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике / Ю.Б. Гук. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
4. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: учебник / Б.И. Кудрин. - РнД: Феникс, 2018. - 382 с.
5. Лучинкин, А. В. Проблемы управления режимами работы энергетических систем / А. В. Лучинкин, Ю. А. Шатова, А. А. Кривошапов. // Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах: сб. ст. Междунар. науч.-пр. конф. - Пенза, 2012 г. - С. 37-45.
6. Надёжность систем энергетики: сборник рекомендуемых терминов. – М.: ИАЦ «Энергия», 2007. – 192 с.
7. Непомнящий, В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей / В.А. Непомнящий. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 188 с.
8. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промыш.предприятий и городов: Учебное пособие / Г.Н. Ополева. - М.: Форум, 2018. - 350 с
9. Папков, Б.В. Основы теории систем для электроэнергетиков / Б.В. Папков, А.Л. Куликов; под ред. Н.И. Воропая. – Н. Новгород: ВВАГС, 2011. – 456 с.
10. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение предприятий добычи и переработки нефти и газа: Учебник / Ю.Д. Сибикин. - М.: Форум, 2018. - 416 с.
11. Современные проблемы экономики электроэнергетики: сб. ст. – Н. Новгород: НГТУ, 2009. – 393 с.

12. Хорольский, В. Я. Надежность электроснабжения: учебное пособие / В. Я. Хорольский, М.А. Таранов. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2014. – 128 с.
13. Чеботаев, Н.И. Электрооборудование и электроснабжение открытых горных работ / Н.И. Чеботаев. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2009. - 474 с.
14. Червонный, Е.М. Рациональное распределение отключаемой мощности между потребителями при ликвидации аварийной ситуации в энергосистеме / Е.М. Червонный, М.В. Шарыгин // Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики. Вып. 56. Задачи надёжности реформируемых систем энергетики и методы их решения. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2006. С. 250–258.
15. Шабад, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 350 с.
16. Шалин, А.И. Надёжность и диагностика релейной защиты энергосистем / А.И. Шалин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
17. Шуин, В.А. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ / В.А. Шуин, А.В. Гусенков. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001. – 104 с.
18. Классификация ВЛ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektro-montagnik.ru/?address=lectures/part2/&page=page.1>
19. Краткая характеристика развития электрических сетей и систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektro-dox.ru/proekt/2.html>.
20. Линии электропередач [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tss-spb.pro/uslugi/linii-elektroperedach.html>.
21. Птицезащитные устройства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rrcn.ru/ru/electrocutions/bpd>.
22. Надежность электроснабжения и качество электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.eti.su/articles/spravochnik/spravochnik\\_1566.html](http://www.eti.su/articles/spravochnik/spravochnik_1566.html).

23. Основные вопросы проектирования воздушных линий электропередач: учебное пособие / Ф. Р. Исмагилов [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2015. — 211 с.: ил. – Библиогр.: с. 208-210.

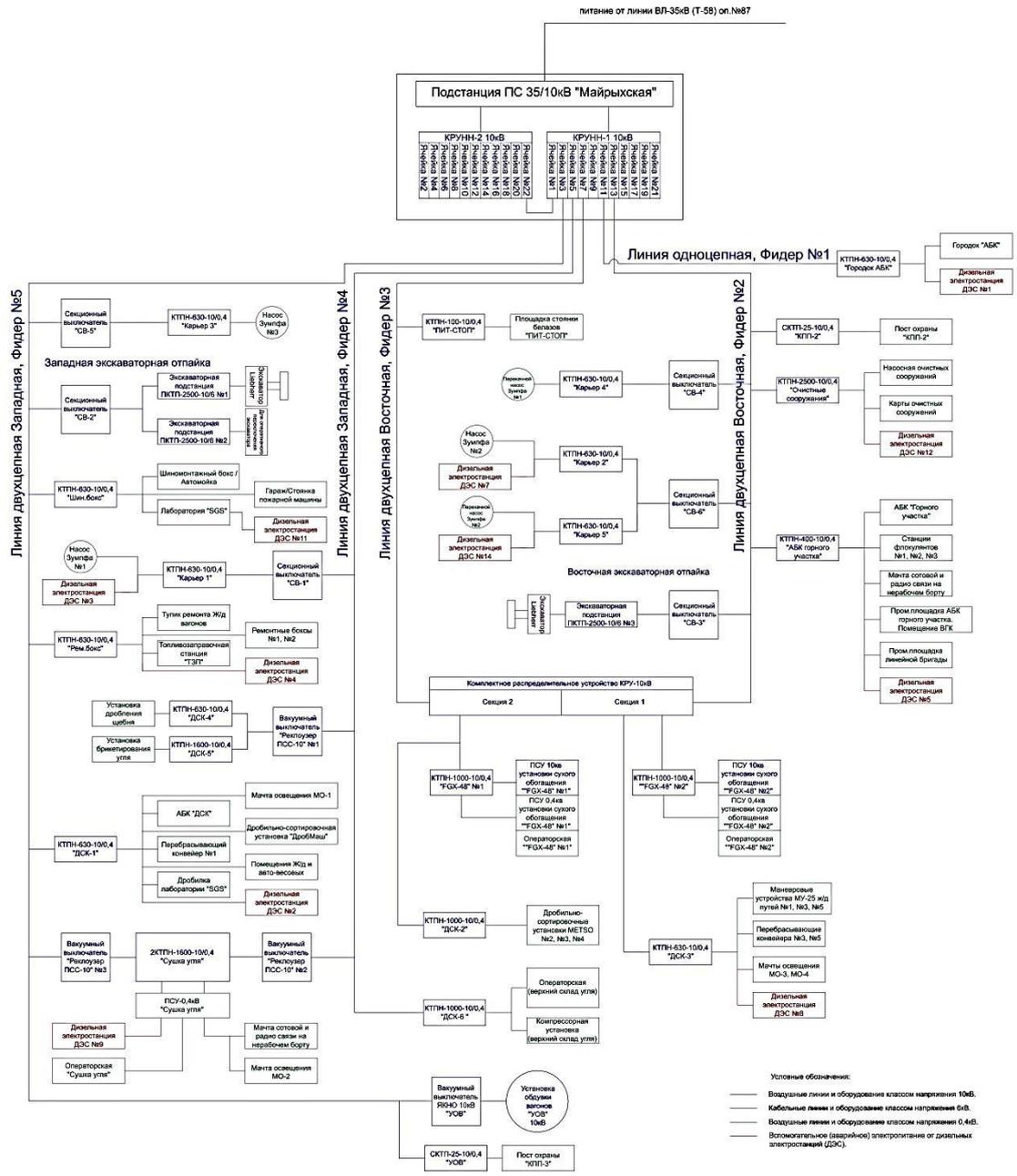
24. Основные понятия и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pointer.laser-squad.com/isr/books/tehobsl/ponyatiya.html>.

25. Основные понятия теории надежности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.obzh.ru/nad/4-1.html>.

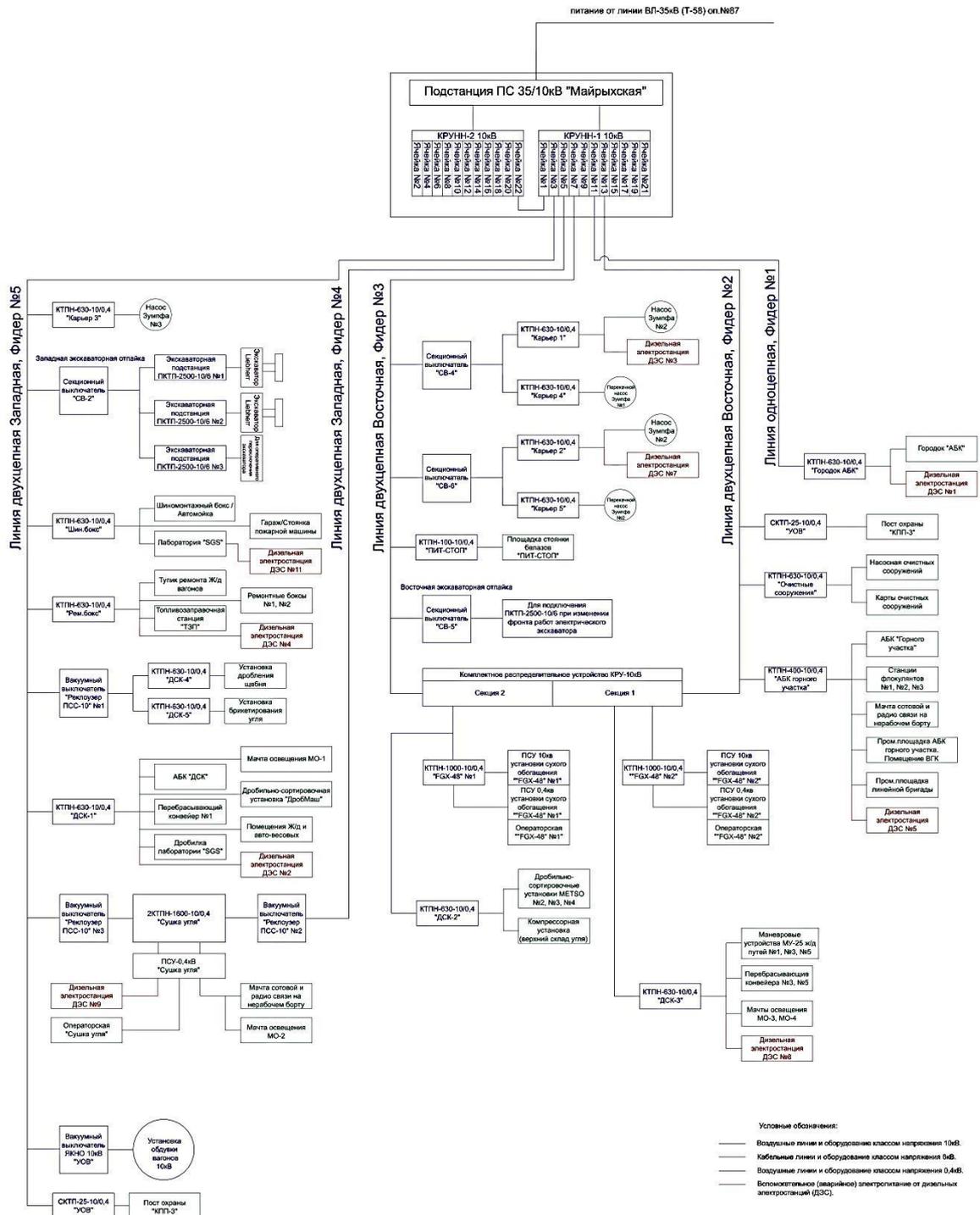
26. Планово-предупредительный ремонт оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.galaktika.ru/eam/planovopredupreditelnyj-remont-oborudovaniya.html>.

27. Планово-предупредительный ремонт электрооборудования [Электронный ресурс]. – 50 Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/electroremont/1081-planovopredupreditelnyj-remont.html>.

Структурная схема электроснабжения 1 подстанции «Майрыхская»



Структурная схема электроснабжения 2 участка «Майрыхская»



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. Горюнов  
подпись инициалы, фамилия

« 20 » 06 2024 г.

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код - наименование направления

Анализ аварийных отключений на подстанции 35/10/0,4 кВ  
ООО «УК Разрез Майраховский»  
тема

Руководитель А.С. Горюнов доцент, к.т.н.  
подпись, дата должность, ученая степень

Н.В. Дулесова  
инициалы, фамилия

Выпускник И.Ю. Чарочкин 18.06.24  
подпись, дата

И.Ю. Чарочкин  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер И.А. Кычкова 18.06.24 г.  
подпись, дата

И.А. Кычкова  
инициалы, фамилия

Абакан 2024