

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

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

«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Г.Н. Чистяков  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Анализ надежности работы линий 0,4-10 кВ Минусинского РЭС

тема

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись, дата

доцент, к.т.н.  
должность, ученая степень

Е. В. Платонова  
инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_  
подпись, дата

А. М. Булычев  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_  
подпись, дата

И.А. Кычакова  
инициалы, фамилия

Абакан 2020

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

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

«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Г.Н. Чистяков

подпись                      инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

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

Студенту \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество)

Группа 16-1

Специальность 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код) (наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Анализ надежности работы  
линий 0,4-10 кВ Минусинского РЭС

Утверждена приказом по институту № 323 от 05.06.2020

Руководитель ВКР Платонова Е. В., доцент кафедры «электроэнергетика»  
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для дипломного ВКР: материалы из журнала учета данных по  
отключениям произошедших на объектах Минусинского РЭС за 2015-2019 гг.

Перечень разделов дипломного проекта:

#### ВВЕДЕНИЕ

1. Характеристика объекта анализа
2. Анализ надежности электроснабжения
3. Расчет показателей надежности
4. Повышение надежности электроснабжения
5. Система усиления изоляции
6. Расчет показателей надежности после применения системы усиления

изоляции

7. Экономический эффект применения системы усиления изоляции

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Список использованных источников

Перечень обязательных листов графической части:

1. Количество и продолжительность отключений
2. Недоотпуск электроэнергии
3. Экономический эффект применения системы усиления изоляции

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ / Е. В. Платонова  
(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ / А. М. Булычев  
(подпись, инициалы и фамилия студента)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Анализ надежности работы линий 0,4-10 кВ Минусинского РЭС» содержит 53 страницы текстового документа, 25 использованных источников, 35 рисунков, 23 таблицы, 3 листа графического материала, приложений нет.

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, НАДЕЖНОСТЬ, АНАЛИЗ, ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ, СИСТЕМА УСИЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ.**

Объект исследования – линии 0,4-10 кВ Минусинского РЭС.

Методы исследования – статистическая обработка данных, расчет показателей надежности.

Основной целью выпускной квалификационной работы является разработка предложений по повышению надежности электроснабжения, в частности снижения количества аварийных отключений, времени этих отключений и недоотпуска электроэнергии.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- Анализ аварийных отключений линий 0,4-10 кВ Минусинского РЭС;
- Разработка мероприятий по повышению надежности работы линий 0,4-10 кВ Минусинского РЭС.

В процессе работы был произведен анализ отключений, времени перерывов электроснабжения и недоотпуска электроэнергии; произведен расчет основных показателей надежности; предложены мероприятия по повышению надежности; произведен расчет экономической эффективности предложенных мероприятий.

Данная работа актуальна для электросетевых организаций, стремящихся повышать надежность сетей. Произведенный анализ может быть полезен при реконструкции, ремонте и проектировании электрических сетей.

## **THE ABSTRACT**

The final qualifying work on the topic "Analysis of the reliability of the operation of 0.4-10 kV lines of Minusinsk RES" contains 53 pages of a text document, 25 used sources, 35 figures, 23 tables, 3 sheets of graphic material, no attachments.

**POWER SUPPLY, RELIABILITY, ANALYSIS, RELIABILITY INDICATORS, INSULATION REINFORCEMENT SYSTEM.**

The object of research is 0.4-10 kV lines of Minusinsk Distribution Zone.

Research methods - statistical data processing, calculation of reliability indicators.

The main goal of the final qualifying work is to develop proposals for improving the reliability of power supply, in particular, reducing the number of emergency outages, the time of these outages and undersupply of electricity.

Tasks of the final qualifying work:

- Analysis of emergency shutdowns of 0.4-10 kV lines of Minusinsk Distribution Zone;
- Development of measures to improve the reliability of the 0.4-10 kV lines of Minusinsk Distribution Zone.

In the course of the work, an analysis of outages, time of interruptions in power supply and undersupply of electricity was made; calculation of the main indicators of reliability; measures to improve reliability are proposed; the calculation of the economic efficiency of the proposed measures was made.

This work is relevant for power grid organizations seeking to improve the reliability of networks. The analysis performed can be useful in the reconstruction, repair and design of electrical networks.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1 Характеристика объекта анализа.....	9
2 Анализ надежности электроснабжения .....	11
2.1 Анализ аварийных отключений в Минусинском РЭС в 2015 году .....	11
2.2 Анализ аварийных отключений в Минусинском РЭС в 2016 году .....	16
2.3 Анализ аварийных отключений в Минусинском РЭС в 2017 году .....	21
2.4 Анализ аварийных отключений в Минусинском РЭС в 2018 году .....	26
2.5 Анализ аварийных отключений в Минусинском РЭС в 2019 году .....	30
2.6 Влияние на аварийность линий 0,4-10 кВ перекрытий изоляции, неблагоприятных погодных условий и воздействия птиц.....	35
3 Расчет показателей надежности .....	36
3.1 Поток отказов электрооборудования .....	36
3.2 Среднее время восстановления.....	37
4 Повышение надежности электроснабжения .....	39
5 Система усиления изоляции.....	40
6 Расчет показателей надежности после применения системы усиления изоляции.....	46
6.1 Поток отказов электрооборудования после внедрения системы усиления изоляции.....	46
6.2 Среднее время восстановления.....	46
7 Экономический эффект применения системы усиления изоляции .....	48
7.1 Расчет капитальных затрат.....	48
7.2 Ущерб от перерывов электроснабжения .....	48
7.3 Определение срока окупаемости.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	51

## ВВЕДЕНИЕ

Надежность сетей 0,4-10 кВ является приоритетной задачей в электроэнергетических системах. Перебои в питании увеличивают расходы на техническое обслуживание и наносят ущерб потребителям.

При отказе (аварийном отключении) отдельного элемента возможно отключение большого участка системы, что приводит к отключению потребителей.

На устранение аварий могут потребоваться большие средства, включая расходы на замену оборудования, затраты на оплату труда, экологическую очистку территории и т.д. Из множества причин перебоев в питании нами были выделены воздействия птиц на электрооборудование, перекрытия изоляции и неблагоприятные погодные условия.

Основной фактор, влияющим на надежность работы районных электрических сетей, является надежность работы воздушных линий электропередачи. Количество аварийных отключений, время этих отключений и недоотпуск электроэнергии достаточно велики, что приводит к перерывам электроснабжения потребителей и к существенным затратам на устранение аварий со стороны электросетевых организаций.

Целью работы является разработка мероприятий по повышению надежности, в частности предложений по применению системы усиления изоляции в распределительных сетях Минусинского РЭС.

Задачи, решаемые в работе:

1) Анализ причин отключений, продолжительности отключений и величины недоотпуска электроэнергии в распределительных сетях сетей 0,4-10 кВ Минусинского РЭС;

2) Анализ эффективности применения системы усиления изоляции в распределительных сетях 0,4-10 кВ Минусинского РЭС.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были достигнуты следующие результаты:

- выполнен анализ аварийных отключений и их причин, продолжительности отключений и величины недоотпуска электроэнергии;
- произведен расчет показателей надежности;
- предложены мероприятия по повышению надежности электроснабжения;
- произведено сравнение основных показателей надежности до и после внедрения мероприятий по повышению надежности электроснабжения;

- выполнен анализ экономической эффективности мероприятий по повышению надежности электроснабжения.



## 1 Характеристика объекта анализа

Филиал ПАО «МРСК Сибири» - «Красноярскэнерго» обслуживает территорию одного из крупнейших субъектов Российской Федерации – Красноярского края, общая площадь которого 2339,7 тыс. кв. км. с населением около 3 млн. человек [4].

Электросетевой комплекс «Красноярскэнерго» - это:

- 42570,1 км воздушных линий электропередачи разного уровня напряжения, в том числе:

- 110 кВ - 7591,1 км.,
- 35 кВ- 5682,5 км.,
- 6-10 кВ - 17445,2 км.,
- 0,4 кВ - 11851,4 км.;

3363,02 км., кабельных линий, в том числе:

- 110 кВ - 4,30 км,
- 6-10 кВ - 1757,45 км.,
- 0,4 кВ - 1601,27 км.;

10149 подстанций разного класса напряжения, в том числе:

- ПС 110 кВ - 167 шт.,
- ПС 35 кВ - 233 шт.,
- ТП 6-10/0,4 кВ- 9749 шт.

Производственное отделение Минусинские электрические сети является подразделением филиала ПАО «МРСК Сибири» – «Красноярскэнерго» и подчиняется непосредственно заместителю генерального директора – директору филиала [4].

Основные подразделения, входящие в состав производственного отделения:

- служба высоковольтных линий;
- служба изоляции, защиты от перенапряжений и испытаний;
- служба механизации;
- служба подстанций;
- служба релейной защиты и автоматики;
- центральный склад;
- производственно–техническая служба;
- управление развития и реализации услуг;
- ремонтно-строительный участок;
- общехозяйственный участок;
- район электрических сетей (РЭС).

В МЭС входят следующие районы электрических сетей:

- Минусинский РЭС;
- Каратузский РЭС;
- Курагинский РЭС;
- Ермаковский РЭС;
- Идринский РЭС;
- Шушенский РЭС;

- Краснотуранский РЭС.

Минусинский РЭС обслуживает территорию Минусинского района площадью 3185 км<sup>2</sup>, 39 населённых пункта, 13 сельских поселений, население 25954 человек. Границы района: север: Краснотуранский район Красноярского края; северо-восток: Курагинский район Красноярского края; юго-восток: Каратузский район Красноярского края; юг: Шушенский район Красноярского края; юго-запад и запад: Республика Хакасия.

Объем электросетевого хозяйства составляет - 6044.958у.е.

Оборудование на балансе подразделения:

ПС 110/10 кВ – 7 шт. общая мощность 140 МВА;

ПС 110/35/10/6 кВ – 1 шт. общая мощность 100 МВА;

ПС 35/10 кВ – 5 шт. общая мощность 33,3 МВА;

ТП 10/0,4 кВ – 479 шт. общая мощность 130,89 МВА;

ВЛ-10 кВ – 62 шт. общая протяженность 682,24 км;

ВЛ-0,4 кВ – 859 шт. общая протяженность 503,3 км.

Район электрических сетей (РЭС) осуществляет выполнение комплекса работ по проведению технического и оперативного обслуживания ВЛ и КЛ 0,4-110кВ, ТП 6-10/0,4кВ, СП и РП и ПС 35-110кВ и их ремонта, технического и оперативного обслуживания ПС 35-110 кВ с целью содержания оборудования, зданий и сооружений в состоянии эксплуатационной готовности в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, ведения требуемого режима сетей, обеспечивающих транспорт электрической энергии с минимальным уровнем потерь в пределах установленных норм и распределение в зоне деятельности РЭС [5].

## **2 Анализ надежности электроснабжения**

Под надежностью системы электроснабжения понимают ее свойство выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования. Надежность системы электроснабжения определяется многими факторами, среди которых следует выделить повреждаемость системы электроснабжения и ее элементов [6].

Причинами отказов электроэнергетического оборудования являются повреждения или неисправности. Под повреждениями, как правило, понимают разрушение оборудования, поломку деталей, нарушение целостности электрических и магнитных цепей, порчу изоляции. К неисправностям обычно относят разрегулировку механизмов и защитных устройств без их разрушения, порчи и т.п. [7].

Перерыв в электроснабжении потребителей, как промышленного, так и сельскохозяйственного назначения, транспорта приводит к экономическим ущербам, различным в экономическом отношении [8].

Для анализа аварийных отключений линий 0,4-10 кВ рассматривались акты расследования аварийных отключений Минусинского РЭС за 2015-2019гг.

Виды отключений:

- Аварийное;
- Потребительское.

Причины отключений [12]:

- Атмосферные перенапряжения (гроза);
- Воздействие животных и птиц на ЭУ;
- Неблагоприятные погодные условия (ветровая нагрузка и прочие природные воздействия);
- Оперативные отключения;
- Отключения для МЧС;
- Перекрытия изоляции;
- Повреждения в сети (в том числе в сети потребителя);
- Отключения вследствие превышения допустимых значений параметров линий;
- Прочие отключения.

### **2.1 Анализ аварийных отключений в Минусинском РЭС в 2015 году**

По данным за 2015 год выведем таблицы и построим графики по количеству отключений.

Таблица 2.1 - Количество отключений в 2015

Причина отключения	Количество отключений	Количество отключений, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	21	11,73%
Воздействие птиц	18	10,06%
Неблагоприятные погодные условия	23	12,85%
Не выявленные причины	4	2,23%
Оперативное отключение	7	3,91%
Отключение для МЧС	3	1,68%
Перекрытие изоляции	7	3,91%
Повреждение в сети	52	29,05%
Превышение доп. значений	9	5,03%
Прочее	35	19,55%
Всего	179	100,00%



Рисунок 2.1 - Количество отключений 2015

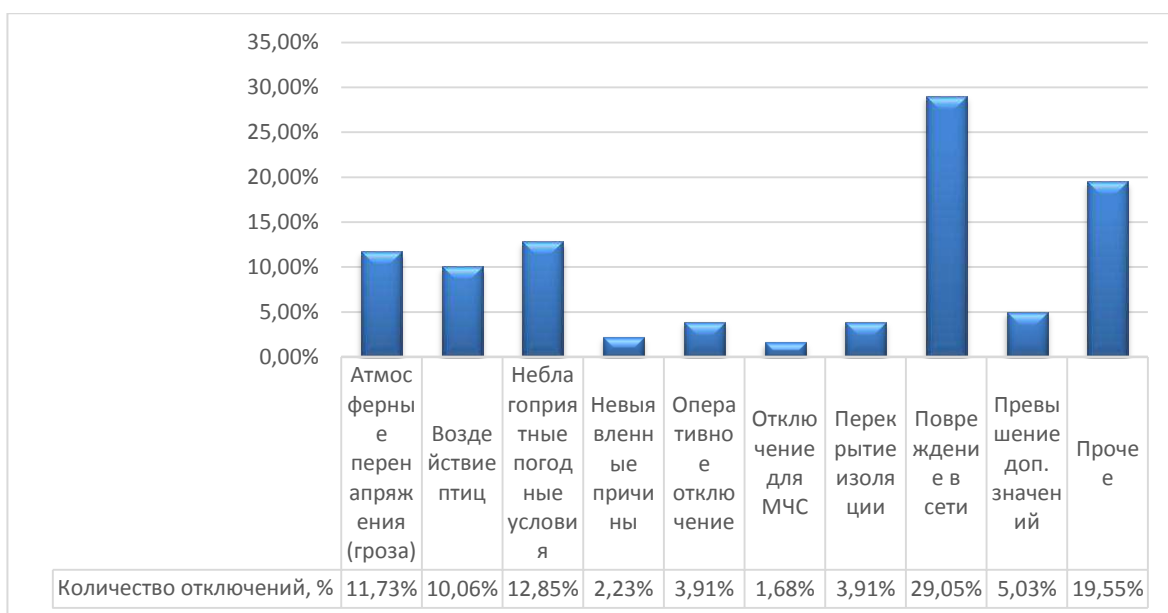


Рисунок 2 – График количества отключений в %

По таблице 2.1 и рисункам 2.1 и 2.2 видно, что наибольшее количество отключений в 2015 году происходило по причине повреждений в сети – 52 отключения, что составляет 29,05% от всего количества отключений за 2015 год. Также большое число отключений из-за воздействия птиц – 18 отключений (10,06%), неблагоприятных погодных условий – 23 отключения (12,85%) и атмосферных перенапряжений – 21 отключение (11,73%).

По данным за 2015 год выведем таблицы и построим графики по времени отключений.

Таблица 2.2 - Время отключений в 2015

Причина отключения	Время отключения, ч	Время отключения, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	80,65	24,83%
Воздействие птиц	21,78	6,71%
Неблагоприятные погодные условия	31,75	9,78%
Не выявленные причины	5,65	1,74%
Оперативное отключение	29,44	9,06%
Отключение для МЧС	2,10	0,65%
Перекрытие изоляции	13,81	4,25%
Повреждение в сети	105,06	32,35%
Превышение доп. значений	7,71	2,37%
Прочее	26,85	8,27%
Всего	324,80	100,00%



Рисунок 2.3 - Время отключений, ч

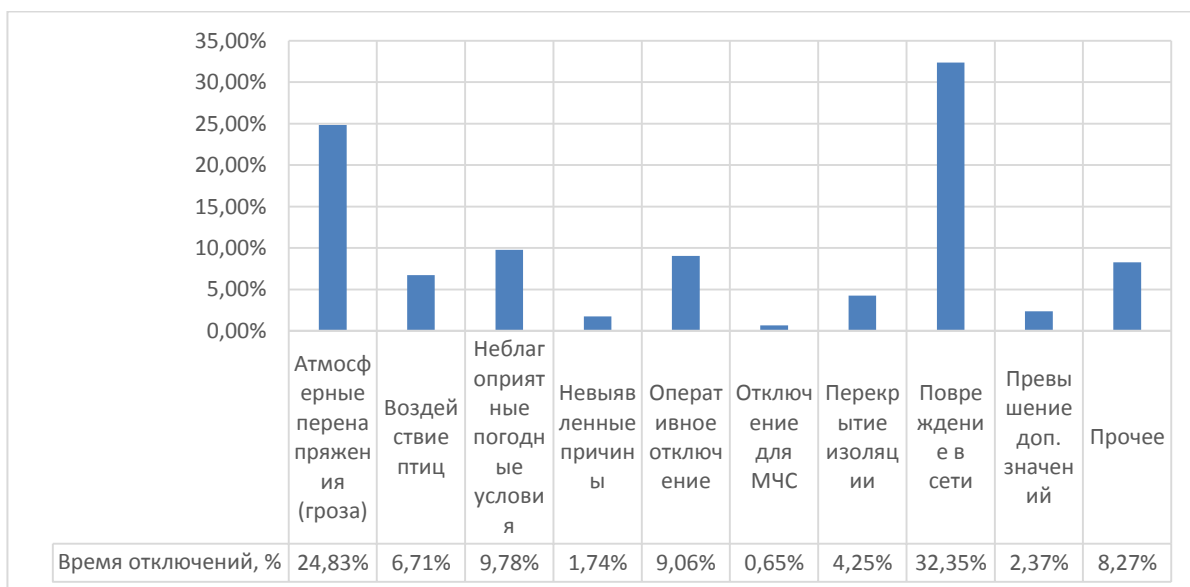


Рисунок 4 – График времени отключения в %

По таблице 2.2 и рисункам 2.3 и 2.4 видно, что наибольшее время отключений в 2015 году было по причинам повреждений в сети - 105,06 ч, что составляет 32,35% от общего времени отключений за 2015 год, атмосферных перенапряжений - 80,65 ч (24,83%), неблагоприятных погодных условий - 31,75 ч (9,78%), оперативных отключений - 29,44 ч (9,06%) и воздействия птиц - 21,78 ч (6,71%).

По данным за 2015 год выведем таблицы и построим графики по недоотпуску электроэнергии.

Таблица 2.3. – Недоотпуск электроэнергии в 2015

Причина отключения	Недоотпуск ээ	Недоотпуск, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	18 031,00	41,42%
Воздействие птиц	4443,23	10,21%
Неблагоприятные погодные условия	3 366,80	7,73%
Не выявленные причины	1 126,80	2,59%
Оперативное отключение	2 880,57	6,62%
Отключение для МЧС	98,00	0,23%
Перекрытие изоляции	436,54	1,00%
Повреждение в сети	9296,57	21,35%
Превышение доп. значений	904,61	2,08%
Прочее	2952,69	6,78%
Всего	43 536,81	100,00%



Рисунок 2.5 – Недоотпуск электроэнергии в 2015г

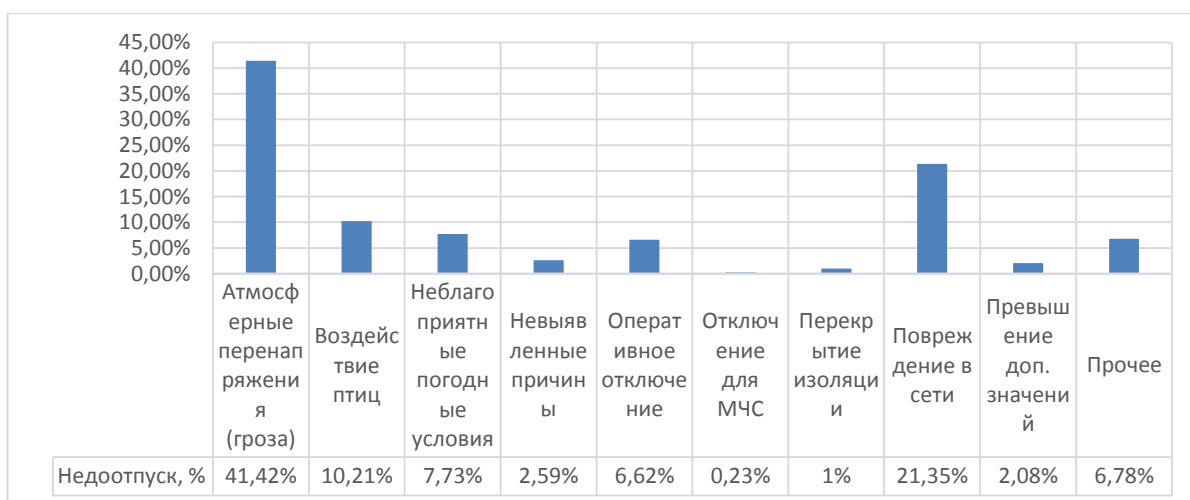


Рисунок 2.6 –График недоотпуска электроэнергии в %

По таблице 2.3 и рисункам 2.5 и 2.6 видно, что наибольший недоотпуск электроэнергии в 2015 году был по причинам атмосферных перенапряжений - 18 031,00, что составляет 41,42% от общего недоотпуска в 2015 году, повреждений в сети - 9296,57 (21,35%), неблагоприятных погодных условий - 3 366,80 (7,73%) и воздействий птиц - 4443,23 (10,21%).

Анализ показал, что отключения, обусловленные воздействием птиц в 2015 году, составили 10,66% от общего числа отключений, отключения вследствие неблагоприятных погодных условий (в том числе схлестывания проводов при ветре) – 12,85%, от перекрытий изоляции – 3,91%. Общее время отключения по этим причинам - 20,74%, а недоотпуск электроэнергии – 18,94%.

## 2.2 Анализ аварийных отключений в Минусинском РЭС в 2016 году

По данным за 2016 год выведем таблицы и построим графики по количеству отключений.

Таблица 2.4 - Количество отключений в 2016 году

Причина отключения	Количество отключений	Количество отключений, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	8	4,28%
Воздействие птиц	22	11,76%
Неблагоприятные погодные условия	26	13,90%
Невыявленные причины	4	2,14%



Окончание таблицы 2.4

Оперативное отключение	8	4,28%
Отключение для МЧС	1	0,53%
Перекрытие изоляции	13	6,95%
Повреждение в сети	60	32,09%
Превышение доп. значений	16	8,56%
Прочее	29	15,51%
Всего	187	100,00%



Рисунок 2.7 - Количество отключений 2016

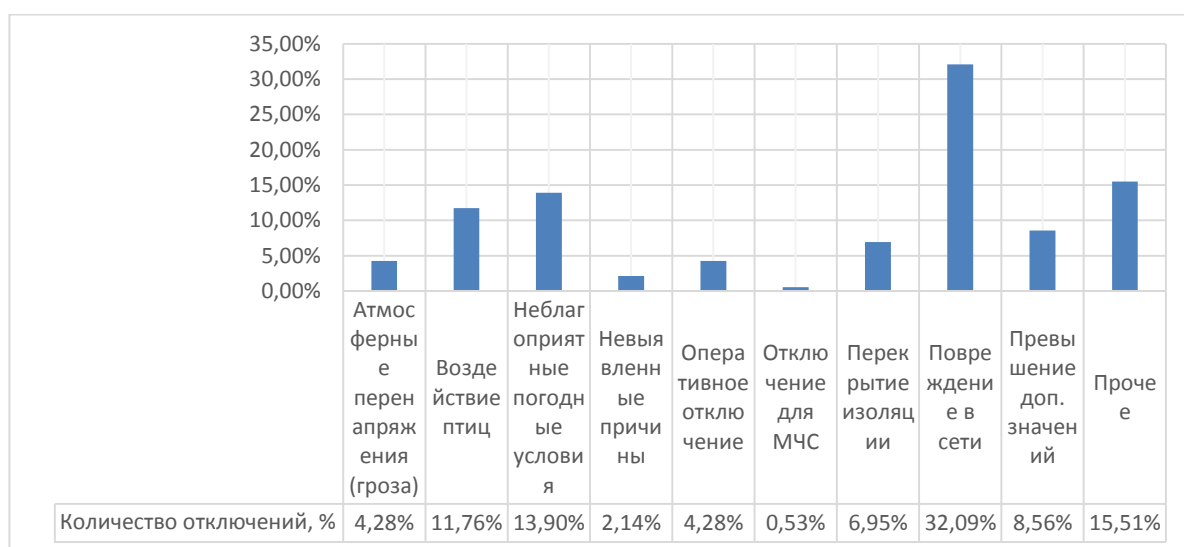


Рисунок 2.8 – График количества отключений в %

По таблице 2.4 и рисункам 2.7 и 2.8 видно, что наибольшее количество отключений в 2016 году было по причине повреждений в сети – 60 отключений, что составило 32,09% от общего числа отключений. Также значительное количество отключений по причинам прочих отключений – 29 отключений (15,51%), неблагоприятных погодных условий – 26 отключений (13,9%) и воздействий птиц – 22 отключения (11,76%).

По данным за 2016 год выведем таблицы и построим графики по времени отключений.

Таблица 2.5 - Время отключений в 2016 году

Причина отключения	Время отключений, ч	Время отключений, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	22,36	9,70%
Воздействие птиц	8,95	3,88%
Неблагоприятные погодные условия	36,46	15,81%
Невыявленные причины	9,83	4,26%
Оперативное отключение	6,85	2,97%
Отключение для МЧС	2,98	1,29%
Перекрытие изоляции	20,85	9,04%
Повреждение в сети	85,58	37,11%
Превышение доп. значений	17,26	7,48%
Прочее	19,51	8,46%
Всего	230,63	100,00%

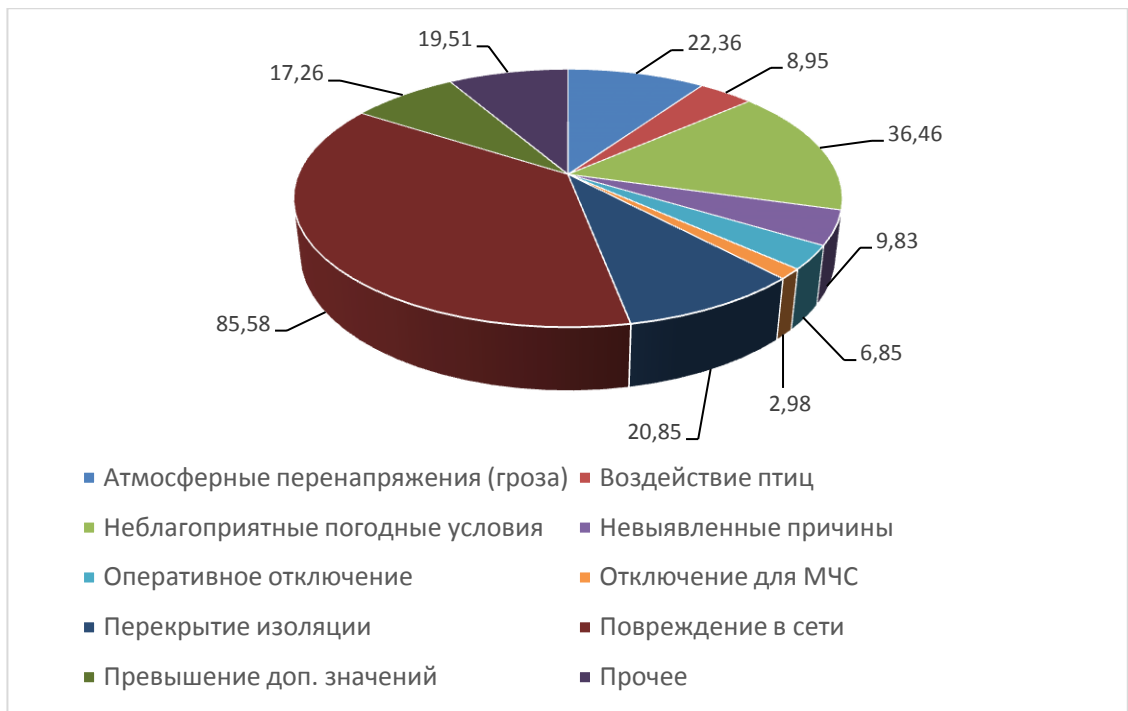


Рисунок 2.9 - Время отключений, ч

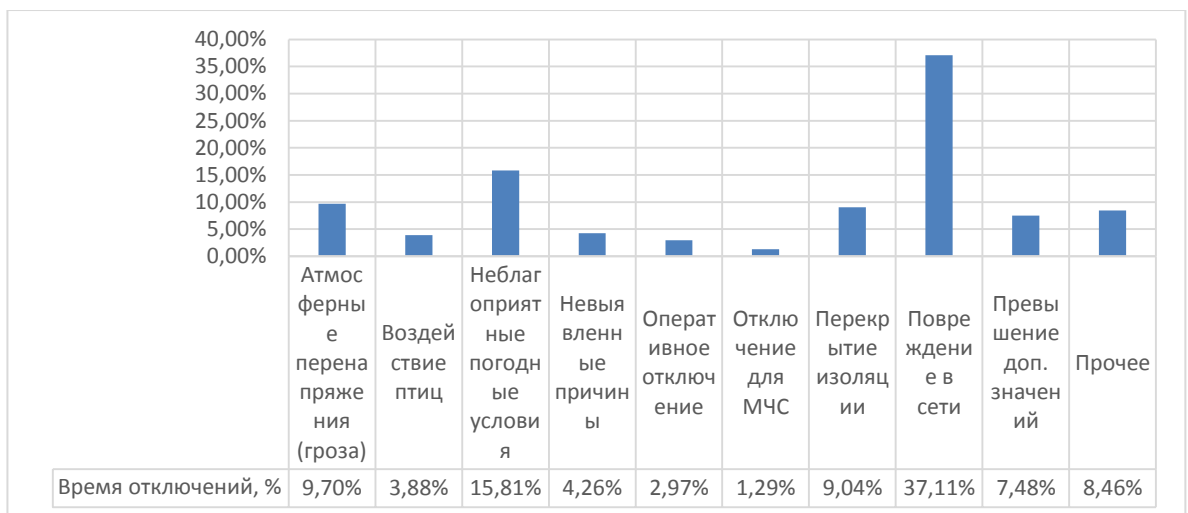


Рисунок 2.10 – График времени отключения в %

По таблице 2.5 и рисункам 2.9 и .10 видно, что наибольшее время отключений в 2016 году было по причине повреждений в сети – 85,58 ч, что составляет 37,11% от всего времени отключений. Также значительное время отключений в 2016 году было по причинам неблагоприятных погодных условий – 36,46 ч (15,81%), атмосферных перенапряжений – 22,36 ч (9,7%) и перекрытий изоляции – 20,85 ч (9,04%).

Данные по недоотпуску электроэнергии в 2016 году представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Недоотпуск электроэнергии в 2016

Причина отключения	Недоотпуск ээ	Недоотпуск, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	920,93	1,95%
Воздействие птиц	918,86	1,95%
Неблагоприятные погодные условия	8548,78	18,13%
Невыявленные причины	359,47	0,76%
Оперативное отключение	522,61	1,11%
Отключение для МЧС	1998,83	4,24%
Перекрытие изоляции	13714,76	29,08%
Повреждение в сети	15491	32,85%
Превышение доп. значений	921,98	1,95%
Прочее	3764,68	7,98%
Всего	47 161,90	100,00%



Рисунок 2.11 – Недоотпуск электроэнергии в 2016г

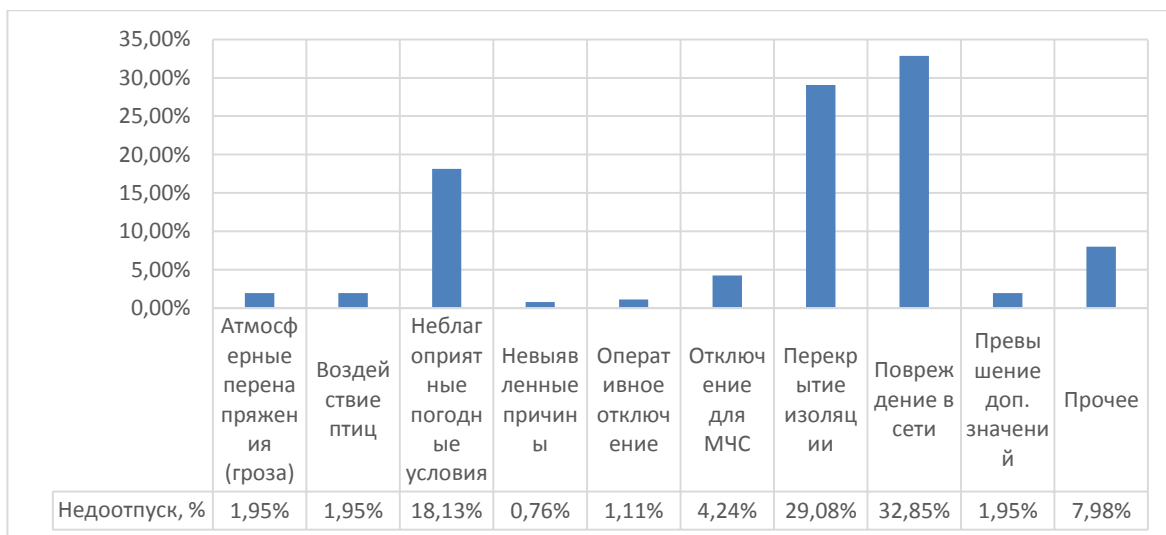


Рисунок 2.12 –График недоотпуска электроэнергии в %

По таблице 2.6 и рисункам 2.11 и 2.12 видно, что наибольший недоотпуск в 2016 году был по причине повреждений в сети – 15491, что составило 32,85% от общего недоотпуска электроэнергии в 2016 году. В том же году значительный недоотпуск происходил по причине неблагоприятных погодных условий - 8548,78 (18,13%) и по причине перекрытия изоляции - 13714,76 (29,08%).

Анализ показал, что отключения, обусловленные воздействием птиц в 2016 году, составили 11,76% от общего числа отключений, отключения вследствие неблагоприятных погодных условий (в том числе схлестывания проводов при ветре) – 13,9%, от перекрытий изоляции – 6,95%. Общее время отключения по этим причинам – 28,73%, а недоотпуск электроэнергии – 49,16%.

### 2.3 Анализ аварийных отключений в Минусинском РЭС в 2017 году

Количество отключений в 2017 году представлено в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Количество отключений в 2017 году

Причина отключения	Количество отключений	Количество отключений, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	25	10,08%
Воздействие птиц	6	2,42%
Неблагоприятные погодные условия	50	20,16%
Не выявленные причины	7	2,82%

Окончание таблицы 2.7

Оперативное отключение	8	3,23%
Отключение для МЧС	7	2,82%
Перекрытие изоляции	19	7,66%
Повреждение в сети	71	28,63%
Превышение доп. значений	4	1,61%
Прочее	51	20,56%
Всего	248	100,00%



Рисунок 2.13 - Количество отключений

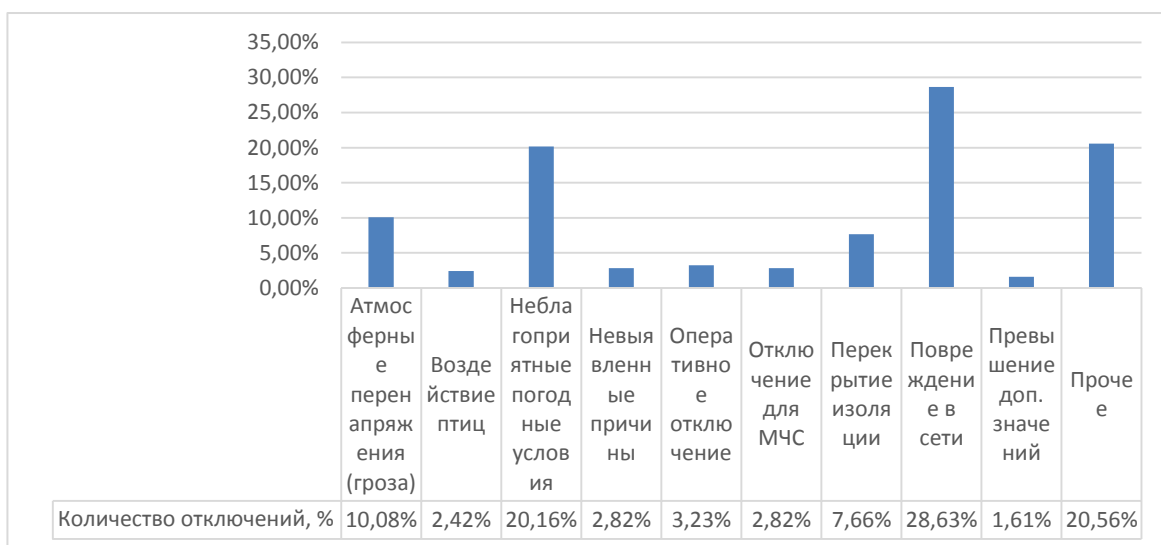


Рисунок 2.14 –График количества отключений в 2017, в %

По таблице 2.7 и рисункам 2.13 и 2.14 видно, что наибольшее количество отключений в 2017 году произошло по причине повреждений в

сети – 71 повреждение, что составило 28,63% от общего числа отключений. Большое количество отключений происходило также из-за неблагоприятных погодных условий – 50 (20,16%) отключений, атмосферных перенапряжений (грозы) – 25 (10,08%) и прочих – 51 (20,56%).

По данным за 2017 год выведем таблицы и построим графики по времени отключений.

Таблица 2.8 - Время отключений в 2017 году

Причина отключения	Время отключений	Время отключений, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	58,51	17,16%
Воздействие птиц	1,17	0,34%
Неблагоприятные погодные условия	60,64	17,78%
Невыявленные причины	5,41	1,59%
Оперативное отключение	7,32	2,15%
Отключение для МЧС	8,89	2,61%
Перекрытие изоляции	38,66	11,34%
Повреждение в сети	109,75	32,19%
Превышение доп. значений	3,23	0,95%
Прочее	47,41	13,90%
Всего	340,99	100,00%

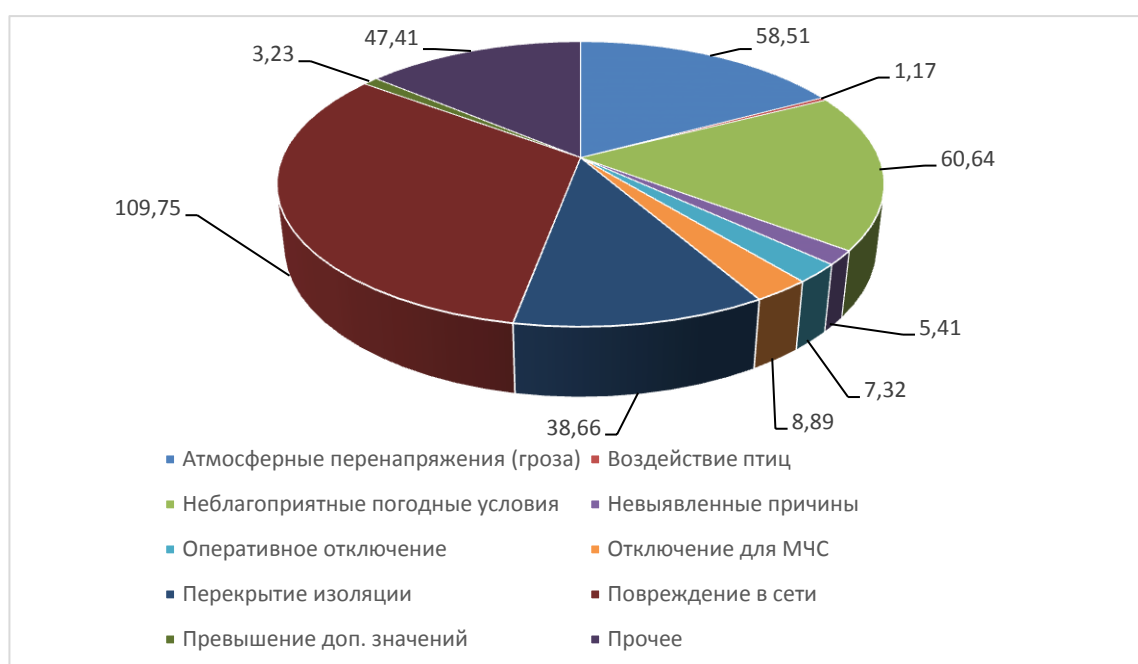


Рисунок 2.15 – Время отключений, ч

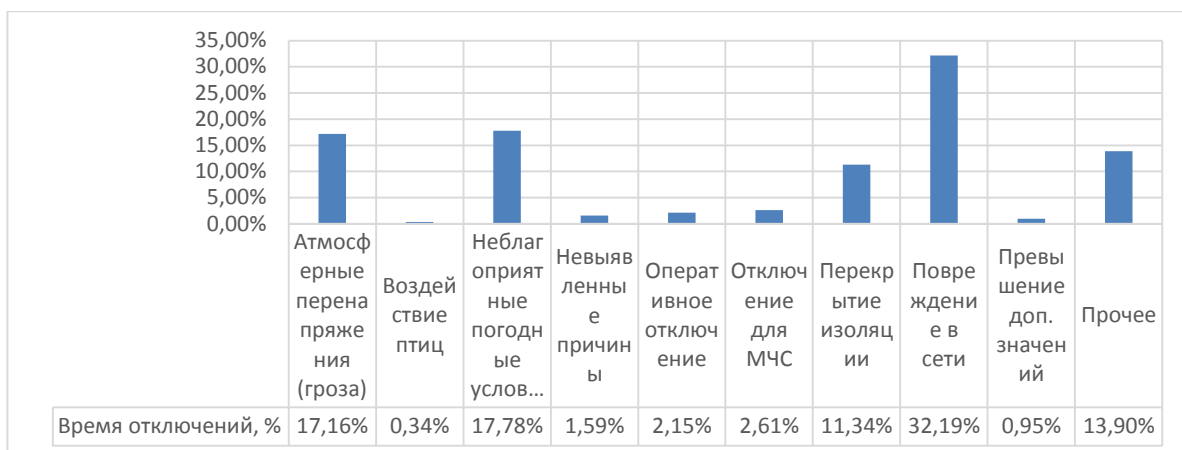


Рисунок 2.16 –График времени отключения в 2017, в %

По таблице 2.8 и рисункам 2.15 и 2.16 видно, что наибольшее время отключения в 2017 году произошло по причине повреждений в сети – 109,75ч, что составило 32,19% от общего времени отключения в 2017 году. Значительное время отключений также произошло из-за неблагоприятных погодных условий – 60,64ч (17,78%), атмосферных перенапряжений (грозы) – 58,51ч (17,16%) и из-за прочих причин – 47,41ч (13,9%).

Данные по недоотпуску электроэнергии в 2017 году представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Недоотпуск электроэнергии в 2017

Причина отключения	Недоотпуск ээ	Недоотпуск, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	1677,5	6,10%
Воздействие птиц	195	0,71%
Неблагоприятные погодные условия	5555,72	20,19%
Невыявленные причины	259,04	0,94%
Оперативное отключение	672,93	2,45%
Отключение для МЧС	1208,66	4,39%
Перекрытие изоляции	1699,76	6,18%
Повреждение в сети	12785,95	46,47%
Превышение доп. значений	189,83	0,69%
Прочее	3270,91	11,89%
Всего	27515,3	100,00%





Рисунок 2.17 – Недоотпуск электроэнергии

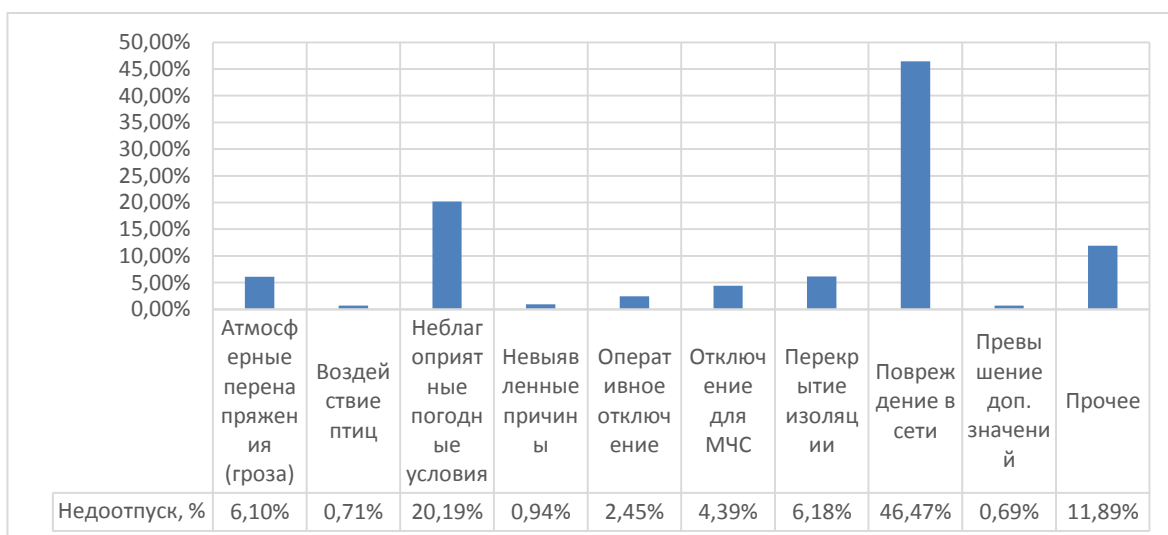


Рисунок 2.18 – График недоотпуска электроэнергии в %

По таблице 2.9 и рисункам 2.17 и 2.18 видно, что наибольший недоотпуск электроэнергии в 2017 году произошел по причине повреждений в сети - 12785,95, что составляет 46,47% от всего недоотпуска за 2017 год. Значительный недоотпуск также произошел по причине неблагоприятных погодных условий - 5555,72 (20,19%), атмосферных перенапряжений - 1677,5 (6,1%), перекрытий изоляции - 1699,76 (6,18%) и прочих причин - 3270,91 (11,89%).

Анализ отключений 2017 года показал, что отключения, обусловленные воздействием птиц в 2017 году, составили 2,42% от общего числа отключений, отключения вследствие неблагоприятных погодных условий (в том числе схлестывания проводов при ветре) – 20,16%, от перекрытий изоляции – 7,66%. Общее время отключения по этим причинам – 29,46%, а недоотпуск электроэнергии – 27,08%.

## 2.4 Анализ аварийных отключений в Минусинском РЭС в 2018 году

В таблице 2.10 приведены данные по отключениям за 2018 год.

Таблица 2.10 - Количество отключений в 2018 году

Причина отключения	Количество отключений	Количество отключений, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	7	5,65%
Воздействие птиц	9	7,26%
Неблагоприятные погодные условия	16	12,90%
Невыявленные причины	1	0,81%
Оперативное отключение	5	4,03%
Перекрытие изоляции	6	4,84%
Повреждение в сети	52	41,94%
Прочее	28	22,58%
Всего	124	100,00%

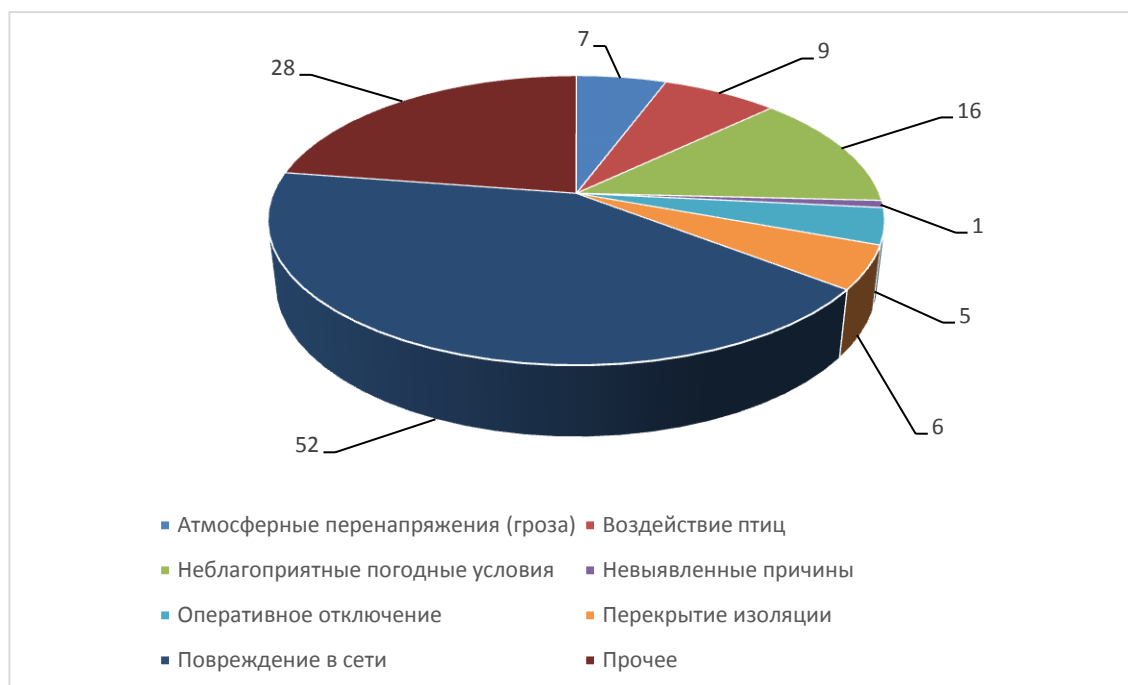


Рисунок 2.19 – Количество отключений

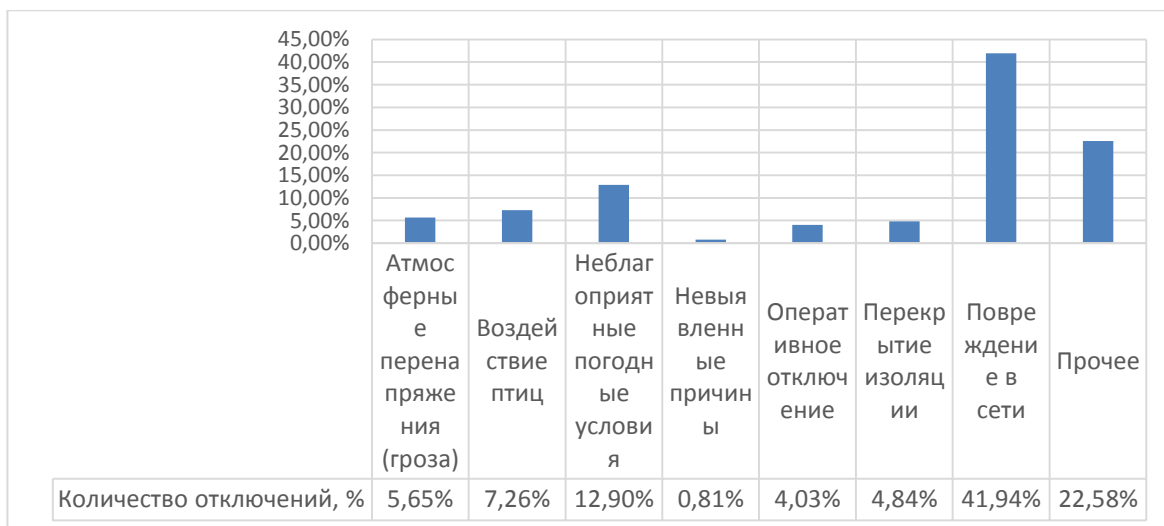


Рисунок 2.20 – График количества отключений в %

По таблице 2.10 и рисункам 2.19 и 2.20 видно, что наибольшее количество отключений в 2018 году произошло по причине повреждений в сети – 52 отключения, что составляет 41,94% от общего количества отключений. Значительное число отключений также произошло по причинам неблагоприятных погодных условий – 16 (12,9%), воздействия птиц – 9 (7,62%) и прочих причин – 28 (22,58%).

По данным на 2018 год выведем таблицы и построим графики по времени отключения.

Таблица 2.11 – Время отключений

Причина отключения	Время отключений, ч	Время отключений, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	15,23	8,12%
Воздействие птиц	6,63	3,54%
Неблагоприятные погодные условия	25,04	13,36%
Невыявленные причины	0,02	0,01%
Оперативное отключение	5,92	3,16%
Перекрытие изоляции	6,03	3,22%
Повреждение в сети	102,5	54,68%
Прочее	26,09	13,92%
Всего	187,46	100,00%



Рисунок 2.21 – Время отключений

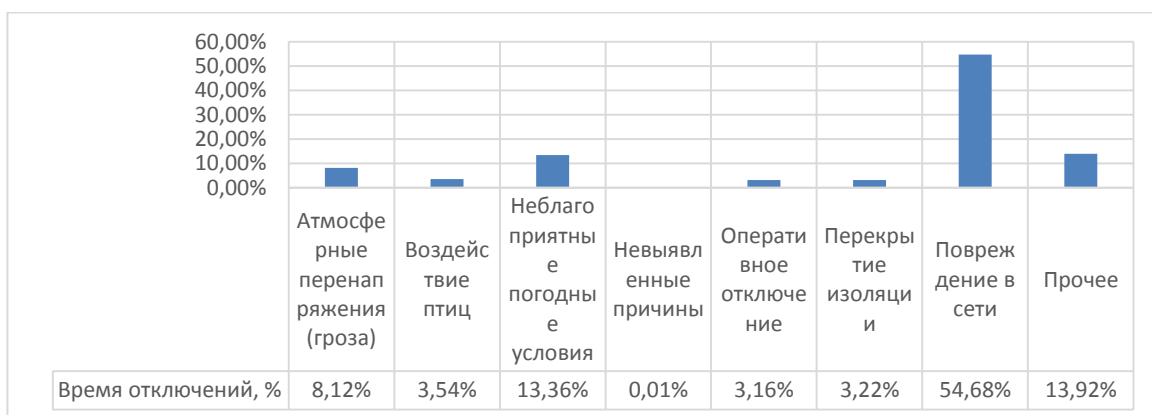


Рисунок 2.22 – График времени отключения в %

По таблице 2.11 и рисункам 2.21 и 2.22 видно, что наибольшее время отключений в 2018 году произошло по причине повреждений в сети – 102,5 ч, что составило 54,68% от всего времени отключений в 2018 году. Значительное время отключений также произошло по причинам неблагоприятных погодных условий – 25,04 ч (13,36%) и атмосферных перенапряжений – 26,09 ч (8,12%).

Проанализируем недоотпуск электроэнергии в 2018 году.

Таблица 2.12 – недоотпуск электроэнергии в 2018 году

Причина отключения	Недоотпуск ээ	Недоотпуск, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	1834,97	5,27%
Воздействие птиц	599,28	1,72%
Неблагоприятные погодные условия	3300,87	9,49%

Окончание таблицы 2.12

Невыявленные причины	3	0,01%
Оперативное отключение	655,2	1,88%
Перекрытие изоляции	1563,11	4,49%
Повреждение в сети	25676,04	73,79%
Прочее	1162,1	3,34%
Всего	34794,57	100,00%

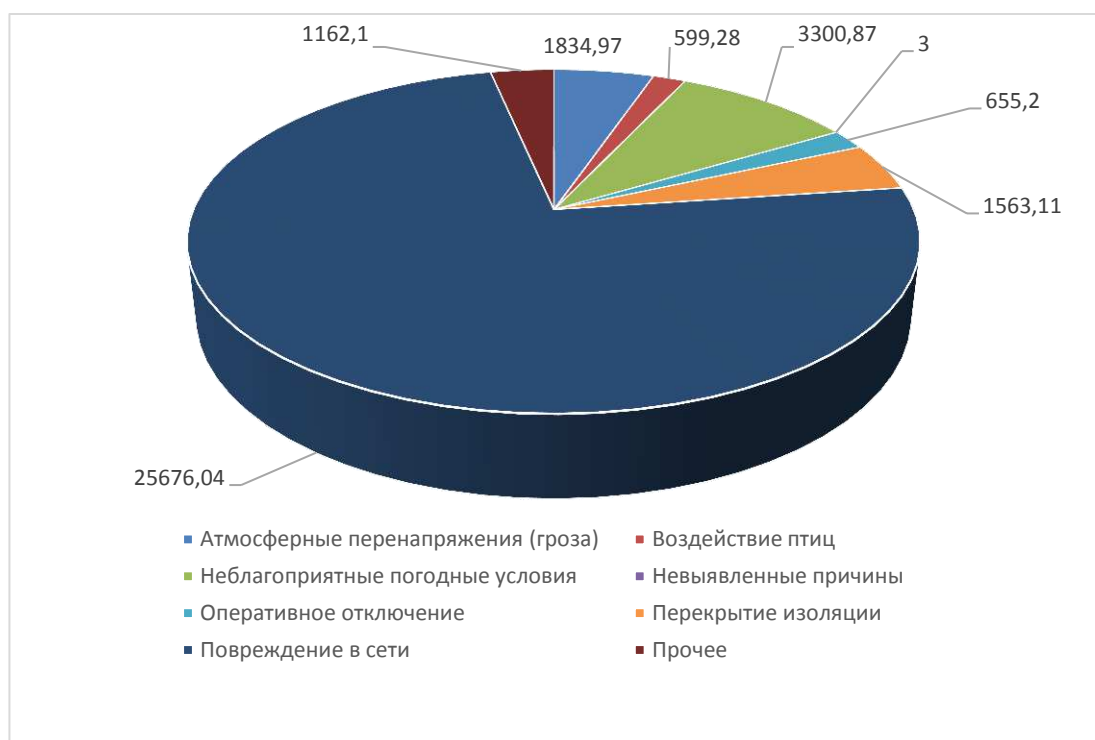


Рисунок 2.23 – Недоотпуск электроэнергии

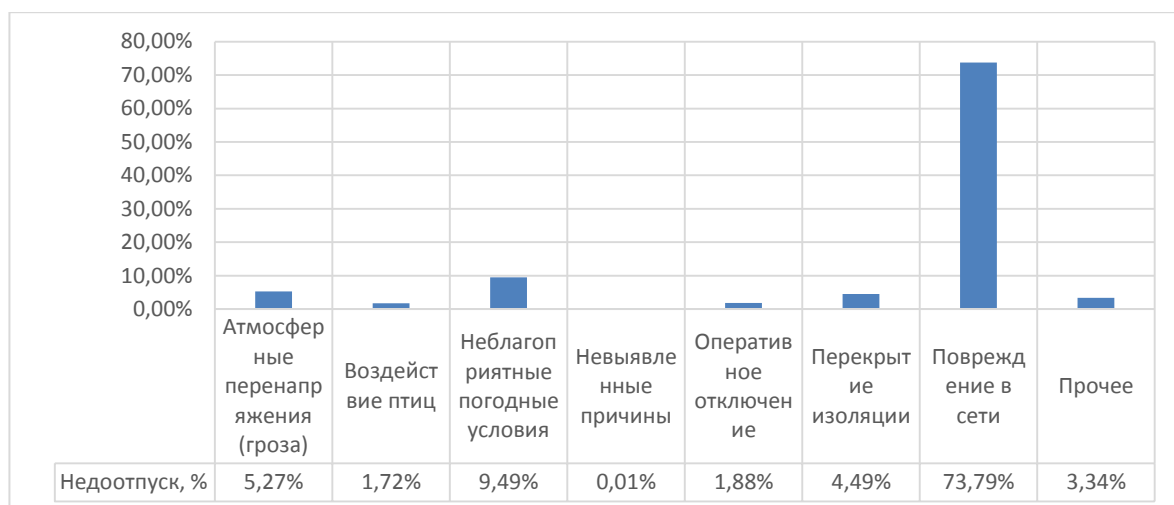


Рисунок 2.24 – График недоотпуска электроэнергии в %

По таблице 2.12 и рисункам 2.23 и 2.24 видно, что наибольший

недоотпуск в 2018 году произошел по причине повреждений в сети - 25676,04, что составляет 73,79% от общего недоотпуска в 2018 году. Значительный недоотпуск также произошел по причине неблагоприятных погодных условий - 3300,87 (9,49%).

Анализ показал, что отключения, обусловленные воздействием птиц в 2018 году, составили 7,26% от общего числа отключений, отключения вследствие неблагоприятных погодных условий (в том числе схлестывания проводов при ветре) – 12,9%, от перекрытий изоляции – 4,84%. Общее время отключения по этим причинам – 20,12%, а недоотпуск электроэнергии – 15,7%.

## 2.5 Анализ аварийных отключений в Минусинском РЭС в 2019 году

По данным за 2019 год выведем таблицы и построим графики по количеству отключений.

Таблица 2.13 – Количество отключений в 2019 году

Причина отключения	Количество отключений	Количество отключений, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	1	1,08%
Воздействие птиц	5	5,38%
Неблагоприятные погодные условия	19	20,43%
Не выявленные причины	2	2,15%
Оперативное отключение	7	7,53%
Перекрытие изоляции	3	3,23%
Повреждение в сети	44	47,31%
Прочее	12	12,90%
Всего	93	100,00%



Рисунок 2.25 – Количество отключений в 2019 году

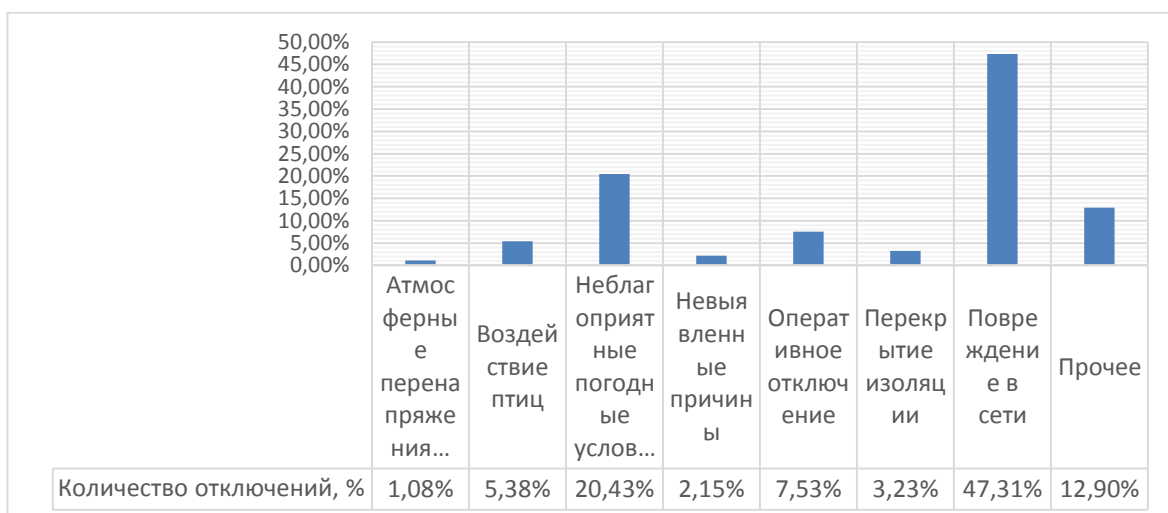


Рисунок 2.26 – График количества отключений в 2019 в %

По таблице 2.13 и рисункам 2.25 и 2.26 видно, что наибольшее количество отключений в 2019 году произошло по причине повреждений в сети 44 отключения, что составляет 47,31% от общего числа отключений за 2019 год. Значительное количество отключений также произошло по причинам неблагоприятных погодных условий – 19 отключений (20,43%) и оперативных отключений – 7 отключений (7,53%).

По данным за 2019 год выведем таблицы и построим графики по времени отключений.

Таблица 2.14 – Время отключений 2019

Причина отключения	Время отключений, ч	Время отключений, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	1,97	1,80%
Воздействие птиц	6,43	5,86%
Неблагоприятные погодные условия	22,82	20,81%
Не выявленные причины	0	0,00%
Оперативное отключение	8,66	7,90%
Перекрытие изоляции	1,4	1,28%
Повреждение в сети	58,7	53,54%
Прочее	9,66	8,81%
Всего	109,64	100,00%



Рисунок 2.27 – Время отключений



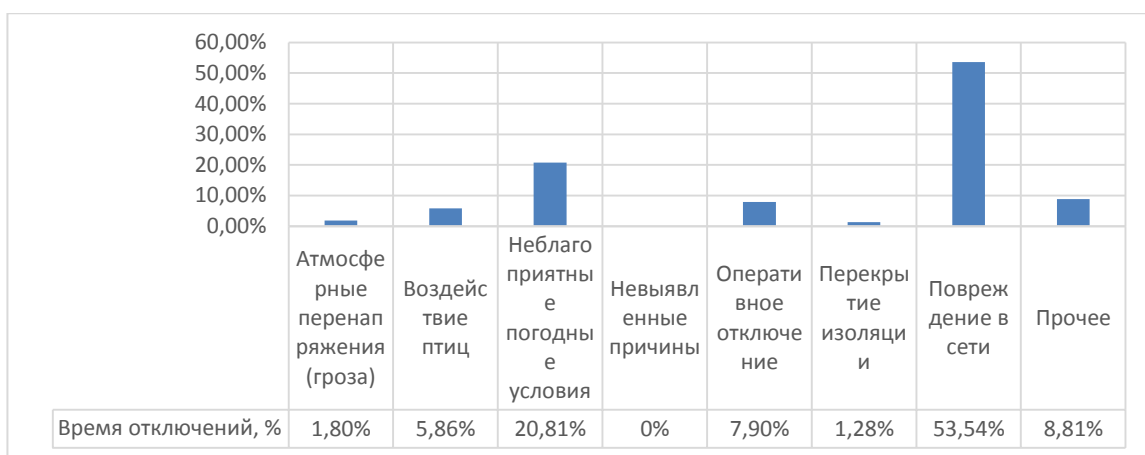


Рисунок 2.28 – График времени отключений в %

По таблице 2.14 и рисункам 2.27 и 2.28 видно, что наибольшее время отключений в 2019 году произошло по причине повреждений в сети - 58,7ч, что составляет 53,54% от всего времени отключений за 2019 год. Также значительное время отключений произошло по причинам неблагоприятных погодных условий – 22,82 ч (20,81%), оперативных отключений - 8,66 ч (7,9%) и воздействий птиц - 6,43 ч (5,86%).

Данные по недоотпуску электроэнергии представлены в таблице 2.15

Таблица 2.15 – Недоотпуск электроэнергии в 2019 году

Причина отключения	Недоотпуск ээ	Недоотпуск, %
Атмосферные перенапряжения (гроза)	118	0,59%
Воздействие птиц	2276,78	11,36%
Неблагоприятные погодные условия	3068,24	15,30%
Не выявленные причины	0	0,00%
Оперативное отключение	1330,59	6,64%
Перекрытие изоляций	145,06	0,72%
Повреждение в сети	11752,81	58,62%
Прочее	1358,9	6,78%
Всего	20050,38	100,00%

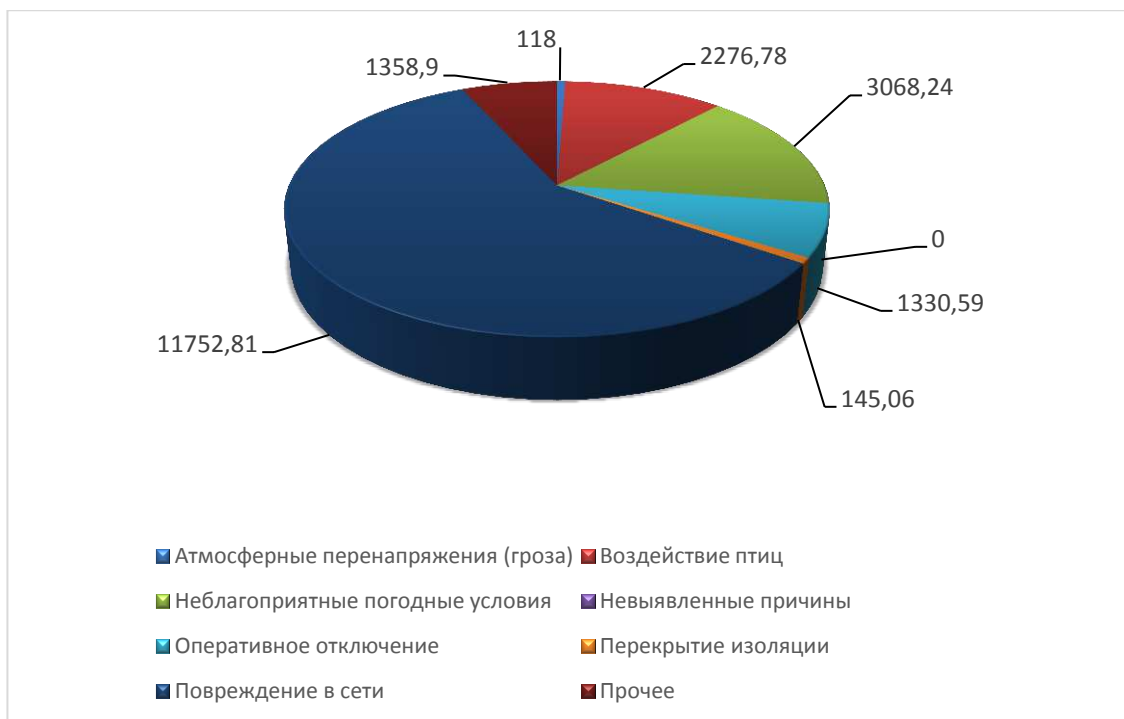


Рисунок 2.29 – Недоотпуск электроэнергии в 2019 году

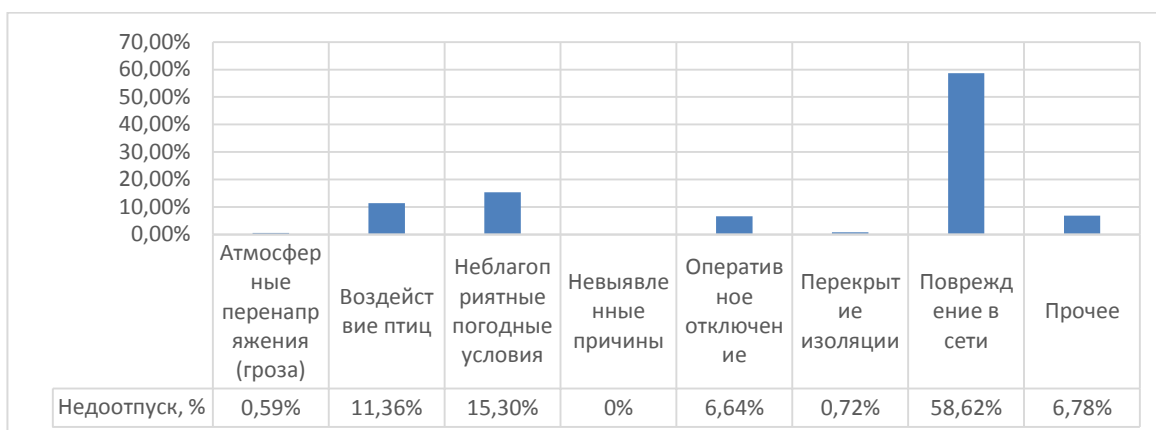


Рисунок 2.30 – График недоотпуска электроэнергии в %

По таблице 2.15 и рисункам 2.29 и 2.30 видно, что наибольший недоотпуск в 2019 году произошел по причине повреждений в сети - 11752,81, что составляет 58,62% от общего недоотпуска электроэнергии в 2019 году. Значительный недоотпуск также произошел из-за неблагоприятных погодных условий - 3068,24 (15,3%) и воздействий птиц - 2276,78 (11,36%).

Анализ показал, что отключения, обусловленные воздействием птиц в 2019 году, составили 5,38% от общего числа отключений, отключения вследствие неблагоприятных погодных условий (в том числе схлестывания проводов при ветре) – 20,34%, от перекрытий изоляции – 3,23%. Общее время отключения по этим причинам – 27,95%, а недоотпуск электроэнергии – 27,38%.

## **2.6 Влияние на аварийность линий 0,4-10 кВ перекрытий изоляции, неблагоприятных погодных условий и воздействия птиц**

Из множества причин перебоев в питании нами были выделены воздействия птиц на электрооборудование, перекрытия изоляции и неблагоприятные погодные условия.

Применительно к сетям 0,4-10 кВ Минусинского РЭС ПАО «МРСК Сибири» - «Красноярскэнерго» был выполнен анализ аварийных отключений за период с 2015г. по 2019г. Анализ показал, что отключения, обусловленные воздействием птиц за период с 2015г. по 2019г., составили 60 отключений, что составило 7,22% от общего числа отключений, отключения вследствие неблагоприятных погодных условий (в том числе схлестывания проводов при ветре) – 134 отключения или 16,13%, от перекрытий изоляции – 48 отключений или 5,78%. Суммарная доля отключений по выделенным трем причинам составила 29,13% от общего количества отключений.

Наиболее продолжительными являются отключения из-за повреждений в сети, а также и-за неблагоприятных погодных условий, грозových перенапряжений и перекрытий изоляции. Суммарное время отключения по выделенным для рассмотрения причинам составило 302,42 часа или 25,35% от общего времени всех перерывов в электроснабжении.

Наибольший недоотпуск электроэнергии имеет место при повреждениях в сети, и-за неблагоприятных погодных условий, грозových перенапряжений и перекрытий изоляции. Суммарный недоотпуск электроэнергии составил 49832,79 кВт\*ч или 28,8% от общего недоотпуска электроэнергии. При этом стоимость такого недоотпуска электроэнергии электросетевым предприятием, определяемая по единым котловым тарифам составляет 4983279 рублей.

### 3 Расчет показателей надежности

Расчет надежности систем электроснабжения сводится к определению одного или нескольких количественных показателей на основе исходных характеристик надежности оборудования [9].

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), отнесенное к одному элементу, отказ/год. Для линий электропередачи параметр потока отказов может относиться к 1 км линии и измеряться 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 невосстанавливаемых систем. Для сетей его рекомендуется использовать до первого отказа, при этом  $t$  принимается равным одному году [16].

Параметр потока отказов и среднее время восстановления являются базовыми показателями, благодаря которым можно посчитать и другие показатели надежности.

Исходные данные для оценки эксплуатационной надежности ЛЭП представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 - Исходные данные для оценки эксплуатационной надежности ЛЭП

Число аварийных отключений					Длина линии, км
2015	2016	2017	2018	2019	
179	187	248	124	93	682,24

#### 3.1 Поток отказов электрооборудования

Поток отказов электрооборудования – это среднее количество отказов восстанавливаемого электрооборудования в единицу времени за

рассматриваемый период времени при условии замены отказавших изделий новыми [10].

Вычисление потока отказов выполняется по формуле 3.1:

$$\omega = \frac{\sum \frac{\Delta r_i}{L_i}}{n} \quad (3.1)$$

где  $\Delta r$  – число отключений  $i$ -й линии;

$L_i$  – длина линии, км;

$n$  – число лет.

Для примера рассчитаем параметр потока отказов для Минусинского РЭС в 2015 году.

$$\omega = \frac{179}{\frac{682,24}{1}} = 0,262$$

Таблица 3.2 - показатели параметра потока отказов Минусинского РЭС 2015-2019гг.

Аварийные отключения						Среднее значение $\omega$ – $\omega_c = 0,243$ отказ/км·год
Год	2015	2016	2017	2018	2019	
$\Delta r$	179	187	248	124	93	
$\omega$	0,262	0,273	0,364	0,182	0,135	

Параметр потока отказов ЛЭП 10 кВ для 100 км равен 7,6 отказ/год, то есть 0,076 отказ/км·год. Полученные средние значения параметр потока отказов для Минусинского РЭС намного превышают среднестатистические.

### 3.2 Среднее время восстановления

Это среднее время простоя электрооборудования, связанное с обнаружением и устранением одного отказа [10]. Среднее время восстановления рассчитывается по формуле 3.2:

$$T_v = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \tau_i \quad (3.2)$$

где  $\tau_i$  – время обнаружения и устранения  $i$ -го отказа;

$m$  – количество отказов.

Таблица 3.3 – Среднее время восстановления (аварийного ремонта)

Аварийные отключения						Среднее значение $T_v$ – $T_v.c = 1,376$ час
Год	2015	2016	2017	2018	2019	
$T_v$ , час	1,58	1,36	0,99	1,72	1,23	

Среднестатистическое время восстановления ЛЭП 10 кВ равно 5 часам. Полученные средние значения времени восстановления для Минусинского РЭС меньше среднестатистического.

#### **4 Повышение надежности электроснабжения**

Мероприятия по обеспечению системной надежности и надежности электроснабжения потребителей направлены на поддержание экономически и социально приемлемого гарантированного уровня надежности, оцениваемого определенной совокупностью базовых показателей [1].

Основной, самый рабочий способ повышения надежности – выявление самых ненадежных частей энергосистемы и повышение надежности в них с использованием разных форм избыточности [15]:

- резервирования;
- улучшение технического обслуживания;
- использование защиты и автоматики;
- установка устройств компенсации и регулировки, улучшающих качество напряжения;
- использование современных усовершенствованных конструкций и материалов.

Для снижения аварийности и повышения надежности сетей принимают оптимальные меры для улучшения работы всех элементов системы, снижения времени аварийных отключений и недоотпуска электроэнергии.

Рекомендуется применять следующие мероприятия [14]:

- анализ технического состояния элементов системы, обязательный обзор всех элементов для обнаружения возможных повреждений, которые могут привести к аварийным ситуациям;
- подготовка качественного персонала;
- своевременный контроль и проверка изоляции элементов;
- качественный ремонт оборудования;
- своевременная обрезка деревьев;
- внедрение современных систем усиления изоляции;
- внедрение методов автоматического контроля состояния оборудования;
- использование эффективной защиты от воздействия птиц и животных [13];
- использование средств молниезащиты;
- использование защиты от механических нагрузок, в том числе при схлестывании проводов.

В результате анализа аварийных отключений и их было выявлено, что перекрытия изоляции, неблагоприятные погодные условия и воздействие на электроустановки птиц имеют постоянный характер. Количество отключений, время отключений и недоотпуск электроэнергии по этим причинам достаточно высоки.

Вследствие проведенного анализа предлагаю разработать мероприятия по повышению надежности линий, в частности применить систему усиления изоляции, которая позволит уменьшить число отключений, уменьшить время отключений, снизить недоотпуск электроэнергии и, самое важное, повысить надежность линий 0,4-10 кВ Минусинского РЭС.

## 5 Система усиления изоляции

Важную роль в обеспечении надежного электроснабжения имеет качество применяемой изоляции. Система усиления изоляции позволяет сократить количество отключений потребителей, время этих отключений и самое важное сократить недоотпуск электроэнергии. Нами была предложена система усиления изоляции фирмы "Райхем" [25].

В состав системы усиления изоляции входят изолирующие корпуса и профили, усилительные высоковольтные юбки и ленты, изолирующие кожухи для бушингов и изоляторов, термоусаживаемые трубки, зонтичные насадки и изолирующие трубки. Система обеспечивает защиту от пробоя в случае перекрытия шин и предотвращает пробой изоляторов и бушингов из-за загрязнения. Система усиления изоляции фирмы "Райхем" выполнена из современных материалов с применением современных технологий [17].

Система усиления изоляции призвана ограничить воздействия на объекты электроснабжения различных внешних факторов, таких как воздействие животных и птиц, неблагоприятных погодных условий, веток деревьев и др.

Важна данная система также и с экологической стороны, так как воздушные линии проходят также и по территории парков, заповедников и заказников. Птицы и другие животные садятся на находящиеся под напряжением проводники, верхние части изоляторов, что может приводить к перекрытию изоляции. Система изоляции позволяет защитить птиц и животных, находящихся на данных территориях, от воздействия электрического тока.

Данная система защищает и от различных неблагоприятных погодных условий и загрязнений, вызванных деятельностью различных промышленных предприятий.

В таблице 5.1 представлены элементы системы усиления изоляции от фирмы "Райхем", в таблице 5.2 – стоимость этих элементов.

Таблица 5.1 – система усиления изоляции от фирмы "Райхем"

№	Обозначение	Расшифровка (англ.)	Расшифровка (рус.)
1	ВВИТ	Busbar Insulating Tubing	Термоусаживаемая трубка для изолирования шины
2	ВСАС	Bushing Connection Animal Covers	Изолирующий от животных корпус для соединителей на бушингах
3	ВСАС-ИС	Bushing Connection Inspection Substation Cover	Кожух для соединителей на вводных изоляторах, позволяющий инспекцию подстанции



Продолжение таблицы 5.1

4	BCIC	Bushing Connection Insulating Covers	Изолирующий корпус для соединителей на бушингах
5	BISG	Bus Insulator Squirrel Guard	Изолятор для защиты шины от белок
6	BMOD	Bushing	Корпус для изолирования соединения двух прямоугольных шин
7	BPTM	Busbar Insulating Tubing	Термоусаживаемая особо гибкая трубка для изолирования шины
8	HVBS	High Voltage Booster Shed	Высоковольтная усилительная юбка
9	HVBT	High Voltage Busbar Tape	Высоковольтная лента для шины
10	HVCE	High Voltage Creepage Extender	Высоковольтный расширитель скользящего разряда
11	HVIS	High Voltage Insulating Sheet	Высоковольтная изолирующая обертка
12	LVBT	Low Voltage Busbar Tape	Низковольтная лента для шины
13	LVIC	Low Voltage Insulating Cover	Низковольтный изолирующий профиль (кожух)
14	LVIT	Low Voltage Insulate Tube	Низковольтная изолирующая трубка
15	MVCC	Medium Voltage Conductor Cover	Средневольтная оболочка, оборачиваемая на проводник
16	MVFT	Medium Voltage Fusion Tape	Средневольтная плавкая лента
17	MVLC	Medium Voltage Line Cover	Средневольтный профиль (кожух) для линии
18	OLIC	Overhead Line Insulating Cover	Изолирующий профиль для неизолированной линии
19	OLIT	Overhead Line Insulating Tube	Изолирующая трубка для неизолированной линии
20	RRBB	Interphase Insulating Barrier Board	Межфазный изолирующий барьерный щиток
21	RRGS	Rigid Red Guano Shield	Твердый красный зонтик для защиты от птичьего помета
22	SMOE		Изолирующий корпус для шины
23	SMOUV		Комплект защиты для бушингов

Окончание таблицы 5.1

24	UBAC	Under Bridge Arm Covers	Кожух (профиль) для усиления под мостом
25	ZBIT	Busbar Insulate Tube	Пожаробезопасная изолирующая трубка для шины

Таблица 5.2 – Стоимость системы усиления изоляции

Наименование	Цена, руб., без НДС	Единица измерения	Примечание
Изоляционный корпус BCIC 3313	3465	шт.	
Ограждение BISG	5580	шт.	
Изоляционная лента OLIT	3015	м	цена за 1 м
Термоусаживаемая изоляционная лента HVBT	От 405 до 1054	м	цена за 1 м
Зонтичные насадки HVBS	от 12690 до 23940	шт.	Цена зависит от диаметра изолятора
Термоусаживаемые юбки HVCE	от 1485 до 5175	шт.	Цена зависит от диаметра изолятора
Изоляционный профиль OLIC	585	м	цена за 1 м
Изоляционный профиль MVLC	от 770 до 1448	м	цена за 1 м
Изоляционные трубки BBIT	От 1260 до 6150	м	
Набор защиты бушингов SMOUV	1575	шт.	

Преимущества данной системы:

- реальное повышение степени надежности изоляции;
- эффективная и рациональная защита подстанций и ЛЭП;
- предотвращение перебоев в питании, происходящих по причинам воздействий животных и птиц, осадков, ветровой нагрузки и другим причинам.

Далее представим некоторые элементы системы усиления изоляции.



Рисунок 5.1 - Изоляционный корпус BCIC 3313

Изоляционный корпус BCIC 3313 защищает птиц и других животных от находящихся под напряжением проводников, установленных на металлических опорах. Конструкция позволяет устанавливать корпуса на изоляторы любых типов напряжением до 24 кВ. Изготовлен из гибкого полимера, обладает высокой трекингостойкостью, стойкостью к воздействию ультрафиолета, устойчив к неблагоприятным погодным условиям [18].



Рисунок 5.2 – Клеющая термоусаживаемая изоляционная лента OLIT

OLIT - клеющая термоусаживаемая изоляционная лента, которая имеет спиралевидную форму для облегчения процесса усадки на проводах на воздушных линиях электропередач. Лента OLIT обеспечивает изоляцию воздушных линий, которая защищает от повреждений, вызываемых раскачиванием проводов и контактами с ветвями деревьев, птицами и животными [19].



Рисунок 5.3 – Изоляционный профиль OLIC

OLIC - изоляционный профиль, который обеспечивает защиту воздушных линий от дуговых перекрытий. Применение OLIC предотвращает

утечку токов и повреждения, вызываемые раскачиванием проводов и контактами с ветвями деревьев, птицами и животными [23].



Рисунок 5.3 – Изоляционный профиль MVLC

Изоляционный профиль MVLC фирмы Райхем.

- Предотвращение токов утечки;
- Экономически выгодное изделие;
- Возможность монтажа под напряжением;

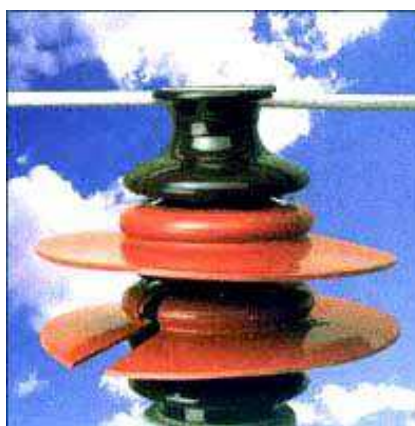


Рисунок 5.4 – Термоусаживаемые юбки HVCE

Термоусаживаемые юбки HVCE представляют собой гибкие полимерные юбки, покрытые с внутренней стороны трекингостойкой мастикой для склеивания с фарфором [24].



Рисунок 5.5 – Зонтичные насадки HVBS

Зонтичные насадки HVBS для изоляторов представляют собой свободно надеваемые кольца для изоляторов любого типа, которые отделены от фарфоровой юбки короткими штифтами, а от сердечника их отделяют шпонки [24].

## 6 Расчет показателей надежности после применения системы усиления изоляции

Для оценки эффективности применения системы были выполнены расчеты показателей надежности воздушных линий 10 кВ после применения системы усиления изоляции.

Исходные данные для оценки эксплуатационной надежности ЛЭП и силовых трансформаторов после применения системы усиления изоляции представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Исходные данные для оценки эксплуатационной надежности ЛЭП 10 кВ после внедрения системы усиления изоляции

Число аварийных отключений					Длина линии, км
2015	2016	2017	2018	2019	
131	126	173	93	66	682,24

При применении системы усиления изоляции в Минусинском РЭС, количество аварийных отключений в 2015 году сократилось на 48, что составляет 26,82% от общего числа отключений в 2015 году, в 2016 году на 61 (32,62%), в 2017 году на 75 (30,24%), в 2018 году на 31 (25%), в 2019 году на 27 (29,03%).

### 6.1 Поток отказов электрооборудования после внедрения системы усиления изоляции

Параметры потока отказов после применения системы усиления изоляции представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 - показатели параметра потока отказов Минусинского РЭС 2015-2019гг. после внедрения системы усиления изоляции

Аварийные отключения						Среднее значение $\omega$ – $\omega_c = 0,172$ отказ/км·год
Год	2015	2016	2017	2018	2019	
$\Delta r$	131	126	173	93	66	
$\omega$	0,192	0,185	0,253	0,135	0,097	

Параметр потока отказов ЛЭП 10 кВ для 100 км равен 7,6 отказ/год, то есть 0,076 отказ/км·год. Полученные средние значения параметра потока отказов для Минусинского РЭС после внедрения системы усиления изоляции уменьшились, но все же превышают среднестатистические.

### 6.2 Среднее время восстановления

Среднее время восстановления после применения системы усиления

изоляции представлено в таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Среднее время восстановления (аварийного ремонта) после внедрения системы усиления изоляции

Аварийные отключения						
Год	2015	2016	2017	2018	2019	Среднее значение Тв- Тв.с =1,58 час
Тв, час	1,86	1,67	1,11	1,98	1,312	

Среднее время восстановления после внедрения мероприятий практически не изменилось.

## 7 Экономический эффект применения системы усиления изоляции

Рассчитаем экономический эффект применения системы усиления изоляции на примере фидера 3-24 Минусинского РЭС.

Всего опор - 254 шт.

Протяженность линии – 12264 метра.

Систему усиления изоляции следует применять после проведения анализа причин аварийных отключений, времени отключений и недоотпуска электроэнергии, вызванного этими отключениями. Система имеет множество различных инструментов и элементов. Чтобы разумно применить систему усиления изоляции, нужно воспользоваться результатами анализа. Систему усиления изоляции можно применять отдельно или точечно, в самых проблемных линиях.

Для усиления изоляции фидера 3-24 будем использовать изоляционные корпуса для защиты птиц ВСІС 3313, стоимостью 3465 рублей, термоусаживаемые юбки НVСЕ, стоимостью 1485 рублей.

### 7.1 Расчет капитальных затрат

Капитальные затраты – это единовременные денежные средства, которые необходимы для строительства новых объектов, развития и реконструкции действующих электрических сетей [20].

По формуле 7.1 определим капитальные затраты:

$$K = n_o * K_{\text{СУИ}} * n_{\text{ф}} \quad (7.1)$$

где  $n_o$  – количество опор;

$K_{\text{СУИ}}$  – капитальные вложения в систему усиления изоляции;

$n_{\text{ф}}$  – количество фаз.

Капитальные затраты на изоляционные корпуса ВСІС 3313:

$$K_{\text{ВСІС 3313}} = 254 * 3465 * 3 = 2640330 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты на термоусаживаемые юбки НVСЕ:

$$K_{\text{НVСЕ}} = 254 * 1485 * 3 = 1131570 \text{ руб.}$$

Суммарные капитальные затраты на СУИ:

$$K = 2640330 + 1131570 = 3771900 \text{ руб.}$$

### 7.2 Ущерб от перерывов электроснабжения

Формула для определения ущерба имеет вид:

$$U = y_0 W_{\text{п.э.}} \quad (7.2)$$

где  $y_0$  – удельный ущерб от недоотпуска 1 кВт·ч электроэнергии;

$W_{\text{п.э.}}$  – количество недоотпущенной электроэнергии за время



перерывов электроснабжения потребителей.

Удельный ущерб учитывает ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителю и ущерб энергосистемы, вызываемый недоиспользованием оборудования, а также затраты на ремонтно-восстановительные работы. Правительство РФ рекомендует с учетом зарубежного опыта этот коэффициент принимать равным от 2 до 4-5 долл/кВт·ч, т.е. в ценах 2009 г. это будет 50 ... 140 руб/кВт·ч, примем равным 75 руб. [21].

Определим ущерб от перерывов электроснабжения от формуле:

$$У = 75 * 8070,1 = 605257,5 \text{ руб.}$$

### 7.3 Определение срока окупаемости

Срок окупаемости – это период времени, необходимый для того, чтобы, генерируемые инвестициями, перекрыли затраты на инвестиции [22].

Срок окупаемости рассчитывается по следующей формуле:

$$PP = CI/SE \quad (7.3)$$

где  $CI$  – капитальные затраты на реализацию мероприятий;

$SE$  – экономия.

Определим срок окупаемости:

$$PP = \frac{3771900}{605257,5} = 6,2 \text{ лет.}$$

Критерий эффективности - приемлемый срок окупаемости для инвестора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом бакалаврской работы является анализ надежности линий 0,4-10 кВ Минусинского РЭС, разработка и расчет системы усиления изоляции, в результате применения которой уменьшается количество аварийных отключений, время этих отключений и недоотпуск электроэнергии, что является наиболее важным для электросетевых организаций.

В ВКР произведен анализ аварийных отключений линий. Работа выполнена по материалам из диспетчерских журналов учета отключений в Минусинском РЭС за 2015-2019гг.

В работе была предложена современная система усиления изоляции, произведенная из качественных современных материалов.

Работа выполнена в соответствии с СТО 4.2-07-2014 [2] и методическими указаниями по выполнению ВКР [3].

Данная работа актуальна для электросетевых организаций, стремящихся повышать надежность сетей. Произведенный анализ может быть полезен при реконструкции, ремонте и проектировании электрических сетей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Концепция обеспечения надёжности в электроэнергетике. /Воропай Н. И., Ковалёв Г. Ф., Кучеров Ю. Н. и др. – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. 212 с.
2. СТО 4.2–07–2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. –Красноярск : ИПК СФУ, 2014. – с.59
3. Выпускная квалификационная работа по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» : метод. указания / сост. Н. В. Дулесова; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Абакан : Ред.изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, 2017. – 62 с.
4. МРСК Сибири [Электронный ресурс] URL: <https://www.mrsk-sib.ru>
5. Документация электросетевых организаций и электрохозяйств предприятий: учебно-практическое пособие / В. Я. Хорольский, А.В Ефанов, В. Н. Шемякин; Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь, 2019 – 68 с.
6. Надёжность системы электроснабжения [Электронный ресурс] URL: [https://studbooks.net/2132673/matematika\\_himiya\\_fizika/raschet\\_pokazateley\\_nadezhnosti\\_sistemy](https://studbooks.net/2132673/matematika_himiya_fizika/raschet_pokazateley_nadezhnosti_sistemy)
7. Шеметов А.Н. Надёжность электроснабжения: учебное пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение». – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006.
8. Савина Н. В. Теория надёжности в электроэнергетике: учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.
9. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : курс лекций / сост. Н. В. Дулесова ; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ, 2016–227с .
- 10.Александров, Д. С. Надёжность и качество электроснабжения предприятий: учебное пособие / Д. С. Александров, Е. Ф. Щербачков.– Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 155 с.
- 11.Надёжность 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).
- 12.Причины повреждений на воздушных линиях электропередачи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/ekspluat/422-prichiny-povrezhdenijj-na-vozdushnykh.html>.
- 13.Птицезащитные устройства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rrrcn.ru/ru/electrocutions/bpd>.
14. Мероприятия по повышению надёжности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://leg.co.ua/knigi/ucheba/elektricheskie-seti-i-sistemy-24.html>
- 15.Способы повышения надёжности электроснабжения [Электронный

- ресурс]. - Режим доступа: [https://studref.com/678848/tehnika/sposoby\\_povysheniya\\_nadezhnosti\\_elektrosnabzheniya\\_potrebiteley](https://studref.com/678848/tehnika/sposoby_povysheniya_nadezhnosti_elektrosnabzheniya_potrebiteley)
16. Показатели надежности электроснабжения [https://ozlib.com/877731/tehnika/nadezhnost\\_sistem\\_elektrosnabzheniya](https://ozlib.com/877731/tehnika/nadezhnost_sistem_elektrosnabzheniya)
  17. Система усиления изоляции [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.starinfo-nic.ru/si/izol-system.html>
  18. Корпус для защиты птиц на воздушных линиях среднего напряжения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://mpk-energofera.ru/products/12/650/>
  19. Изоляционная лента для воздушных линий [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://mpk-energofera.ru/products/12/653/>
  20. Определение частных экономических показателей электрических сетей [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://studref.com/520815/tehnika/opredelenie\\_chastnyh\\_ekonomicheskikh\\_pokazateley\\_elektricheskikh\\_setey](https://studref.com/520815/tehnika/opredelenie_chastnyh_ekonomicheskikh_pokazateley_elektricheskikh_setey)
  21. Техничко-экономическая оценка недоотпуска электроэнергии [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://studref.com/678845/tehnika/tehniko\\_ekonomicheskaya\\_otsenka\\_nedootpuska\\_elektroenergii\\_potrebiteleyam](https://studref.com/678845/tehnika/tehniko_ekonomicheskaya_otsenka_nedootpuska_elektroenergii_potrebiteleyam)
  22. Срок окупаемости [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Срок\\_окупаемости](https://ru.wikipedia.org/wiki/Срок_окупаемости)
  23. Изоляционный профиль для воздушных линий [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://mpk-energofera.ru/products/12/652/>
  24. Элементы защиты изоляторов для подстанций, распределительных устройств и для воздушных линий 1-36 кВ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.starinfo-nic.ru/si/izol/ps+vl.html>
  25. Система усиления изоляции “Райхем” [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://raychem.su>

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

Отпечатано в 1 экземпляре.

Библиография 25 наименований.

Электронный экземпляр сдан на кафедру.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_  
(дата)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО)

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»  
институт  
«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Г.Н. Чистяков  
подпись инициалы, фамилия  
« 24.02 » 02 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код – наименование направления

Анализ надежности работы линий 0,4-10 кВ Минусинского РЭС  
тема

Руководитель	<u>Е.В. Платонова</u> подпись, дата	доцент, к.т.н. должность, ученая степень	<u>Е. В. Платонова</u> инициалы, фамилия
Выпускник	<u>А.М. Бульчев</u> подпись, дата		<u>А. М. Бульчев</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	<u>И.А. Кычакова</u> подпись, дата		<u>И.А. Кычакова</u> инициалы, фамилия

Абакан 2020