

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

Политехнический институт
институт

Электроэнергетики
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В. И. Пантелеев
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2023 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
Анализ средств автоматизации поиска мест повреждений
в сетях напряжением 6-10 кВ.

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
код и наименование направления

13.04.02.09 «Автоматизация энергетических систем»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	<u>К.Т.Н., доцент</u>	<u>Е. В. Платонова</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>П. С. Пилецкий</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>Начальник ПТО МУП АЭС</u>	<u>О. С. Арапаева</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	<u>Доц. Каф ЭМиАТ, к.т.н.</u>	<u>А. В. Коловский</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2023

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»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 Г. Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
«01» ноября 2021 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Абакан 2021

Студенту Пилецкому Павлу Сергеевичу

фамилия, имя, отчество

Группа ОЗХЭн 21–01 Направление (специальность) 13.04.02.

номер

код

«Электроэнергетика и электротехника»

полное наименование

Тема выпускной квалификационной работы Анализ средств автоматизации поиска мест повреждений в сетях напряжением 6-10 кВ

Утверждена приказом по университету № 682 от 29.09.2021

Руководитель ВКР Е.В. Платонова, доцент кафедры «Электроэнергетика», к.т.н.

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР: информация об аварийных отключениях; оборудование для поиска и определения мест повреждений в ЛЭП

Перечень разделов ВКР:

- 1 Обзор статистики технологических нарушений и аварийных отключений «Полярная» 110/10 кВ, Объект МУП «АЭС» Абаканские электрические сети за период с 2018 по 2021 гг
- 2 Анализ средств поиска повреждений на присоединениях «Полярная» 110/10 кВ
- 3 Современное оборудование для поиска мест повреждений в сетях 6-10 кВ
- 4 Предложения по сокращению времени поиска повреждений для ПС «Полярная» 110/10 кВ
- 5 Применение комплекта индикаторов короткого замыкания ИКЗ-В54Л-УЗ
- 6 Предложения по замене защит на микропроцессорные

Руководитель ВКР

подпись

Е. В. Платонова

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

П. С. Пилецкий

подпись, инициалы и фамилия студента

« ____ » _____ 2021 г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Анализ средств автоматизации поиска мест повреждений в сетях напряжением 6-10 кВ» содержит 57 страниц текстового документа, 45 использованных источников, 32 рисунков, 10 таблиц.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, НАДЕЖНОСТЬ, ПОИСК МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ.

Объект исследования – линии 10 кВ, которые присоединены к ячейкам подстанции «Полярная» 110/10 кВ при возникновении в них аварийного режима работы.

Цель работы - разработка предложений по повышению надежности электроснабжения, в частности снижения времени аварийных отключений и недоотпуска электроэнергии путем применения современных средств поиска мест повреждений в сетях напряжением 6-10 кВ и средств телемеханизации.

Для достижения заявленной цели были поставлены следующие задачи исследования:

1. Произвести анализ технологических нарушений отходящих ячеек подстанции «Полярная» 110/10 кВ находящейся на балансе МУП «АЭС» Абаканские электрические сети. за период с 2018 по 2021 гг.

2. Выполнить анализ существующих средств автоматизации поиска мест повреждений в сетях 10 кВ.

3. Внести предложения по повышению эффективности определения мест повреждения в сетях 10 кВ на примере подстанции «Полярная» 110/10 кВ.

Объект исследования – линии 10 кВ, которые присоединены к ячейкам подстанции «Полярная» 110/10 кВ при возникновении в них аварийного режима работы.

В основу работы положены следующие методы: анализ, обработка статистических данных.

Практическая значимость работы:

1. Предложено оборудование, позволяющее более оперативно выявлять поврежденный участок линии электропередач напряжением 10 кВ.

2. Определена эффективность применения данного оборудования.

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

Выполненная работа актуальна для электросетевых организаций, стремящихся развивать и повышать надежность электрических сетей.

Проведенный анализ может быть полезен при обслуживании и проектировании электрических сетей.

THE ABSTRACT

The master's thesis on the topic “Analysis of automation tools for searching for fault locations in 6-10 kV networks” contains 62 pages of text document, 49 used sources, 32 figures, 10 tables.

POWER SUPPLY, RELIABILITY, SEARCH OF DAMAGE LOCATIONS.

The object of study is 10 kV lines that are connected to the cells of the 110/10 kV “Polyarnaya” substation when emergency operation occurs in them.

The purpose of the work is to develop proposals for increasing the reliability of power supply, in particular reducing the time of emergency outages and undersupply of electricity through the use of modern means of searching for fault locations in 6-10 kV networks and telemechanization equipment.

To achieve the stated goal, the following research objectives were set:

1. To analyze technological violations of the outgoing cells of the 110/10 kV “Polyarnaya” substation, which is on the balance sheet of the Abakan Electric Networks municipal unitary enterprise “NPP”. for the period from 2018 to 2021.

2. Perform an analysis of existing means of automating the search for fault locations in 10 kV networks.

3. Make proposals to improve the efficiency of identifying fault locations in 10 kV networks using the example of the 110/10 kV “Polyarnaya” substation.

The object of study is 10 kV lines that are connected to the cells of the 110/10 kV “Polyarnaya” substation when emergency operation occurs in them.

The work is based on the following methods: analysis, processing of statistical data.

Practical significance of the work:

1. Equipment has been proposed that makes it possible to more quickly identify a damaged section of a 10 kV power line.

2. The effectiveness of using this equipment has been determined.

In the process of work, an analysis of outages, time of power supply interruptions and undersupply of electricity was carried out, measures were proposed to improve reliability, and an analysis of the economic efficiency of the proposed measures was carried out.

The work performed is relevant for electrical grid organizations seeking to develop and improve the reliability of electrical networks.

The analysis carried out can be useful in the maintenance and design of electrical networks.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Анализ технологических нарушений и аварийных отключений подстанции «Полярная» 110/10 кВ МУП «АЭС»	8
2 Анализ средств поиска повреждений на присоединениях «Полярная» 110/10 кВ	13
2.1 Алгоритм поиска технологических нарушений на ВЛ распределительных электрических сетей.....	13
2.2 Пример поиска и устранения технологического нарушения	17
2.3 Эффективность УПК-04М и УПП-10М с точки зрения перерыва в электроснабжении	20
3 Современное оборудование для поиска мест повреждений в сетях 6-10 кВ..	20
3.1 Комплект индикаторов короткого замыкания ИКЗ-В54Л-УЗ (6-35 кВ)..	21
3.2 Индикатор короткого замыкания «ДСИ-КЛ»	22
3.3 Контроллер программируемый логический ПЛК110	23
3.4 Указатель «Вектор» для определения места однофазного замыкания на землю	25
3.5 Мир Air комплект приборов для ОМП воздушных линий 0,4; 6-10 кВ...	27
3.6 КВАНТ прибор сигнализации замыканий на землю линии 0,4 – 35 кВ ..	29
3.7 Рефлектометр импульсный РИ–303ВМ «СТРИЖ».....	31
3.8 Сталкер ВЛ – дефектопоисковый комплекс.....	34
3.8.1 Методика поиска места повреждения прибором Сталкер ВЛ	35
3.8.2 Пассивный поиск без применения генератора.....	37
3.9 Филин 6 электронно-оптический дефектоскоп.....	37
3.9.1 Принцип работы Филин 6	38
4 Предложения по сокращению времени поиска повреждений для ПС «Полярная» 110/10 кВ.....	39
5 Применение комплекта индикаторов короткого замыкания ИКЗ-В54Л-УЗ ..	41
5.1 Выбор числа и мест установки	41
5.2 Экономическая эффективность внедрения ИКЗ-В54Л	43
5.3 Срок окупаемости вложений	46
6 Предложения по замене защит на микропроцессорные	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в нашей жизни невозможно обойтись без электрической энергии. Электрическую энергию используют везде, где требуется применение световой, тепловой, механической энергии, она постоянно применяется в коммунальной сфере и в быту. Для качественного и современного электроснабжения потребителей постоянно в рабочем состоянии находятся энергетические системы, к которым необходимо предъявлять высокие требования по надежности, качеству и безопасности предоставляемой электрической энергии.

С каждым годом отмечается увеличение электрических нагрузок, рост мощностей установок определенных промышленных предприятий, автоматизация и информатизация процессов. Все данные процессы требуют высокой надежности электропотребления и качества передаваемой электроэнергии.

В электроэнергетической системе, которая расположена в пределах города Абакана и находящаяся на балансе МУП «АЭС», количество аварийных случаев достигает несколько десятков в год, а недоотпуск электроэнергии значительное количество кВт-часов. Поиск возможных путей повышения надежности и качества электрической энергии является первостепенной задачей, как при проектировании электрических сетей, так и при их эксплуатации.

К причинам аварийных ситуаций можно отнести такие факторы как, грозовая и ветровая деятельность, дожди, изморозь, действия птиц и животных [5].

Нарушения нормального функционирования электроэнергетической системы ведут к комплексу отрицательных явлений, которые имеют социально-экономический характер. Перерывы в электроснабжении или некачественная электроэнергия служит причиной недоотпуска продукции, снижения ее качества, брака, перерасхода или недоотпуска ресурсов, выхода из строя рабочего оборудования потребителей как на предприятиях, так и в жилых домах, ощутимых потерь в деятельности экономики.

Автоматизированные процессы часто применяются в производстве, с большим количеством технологических циклов, сильно чувствительных к качеству электроэнергии. Соответственно, для нормальной работы современных электроустановок требования к надежности передачи и качеству электрической энергии должны быть наиболее высокими. Соответственно возникает необходимость в объективной оценке способности системы электроснабжения обеспечить бесперебойность работы и подачи электроэнергии.

Кабельные и воздушные линии напряжением 10 кВ являются самой распространенной и основной частью электрических сетей. Соответственно в таких линиях часто происходят аварийные ситуации, наиболее частой причиной таких явлений вне зависимости от качества эксплуатируемого оборудования

будут природные катаклизмы, животные и человеческий фактор.

Повреждение кабеля или воздушной линии в цепочке подстанций, не важно в начале цепочки или в конце, вызывает срабатывание защит на распределительном пункте что приводит к отключению всей цепочки подстанций. Вследствие этого, поврежденный участок электрической сети последовательно определяется с применением сторонних методов, которые могут занимать продолжительное время. Более того, однофазные короткие замыкания в сетях с изолированной нейтралью не являются серьезным повреждением и релейные защиты в данном случае срабатывают только на сигнал [3]. Так как такой режим работы допустим на определенное время, то отыскание данного повреждения занимает как правило намного больше времени. В этом случае может быть использовано различное оборудование, предназначенное именно для поиска повреждения на выбранном участке электрической сети. Поиск таких отключений заключается в целесообразном выборе подходящего оборудования и эффективного метода поиска мест повреждений.

Цель работы - разработка предложений по повышению надежности электроснабжения, в частности снижения времени аварийных отключений и недоотпуска электроэнергии путем применения современных средств поиска мест повреждений в сетях напряжением 6-10 кВ и средств телемеханизации.

Для достижения заявленной цели были поставлены следующие **задачи исследования**:

1. Произвести анализ технологических нарушений отходящих ячеек подстанции «Полярная» 110/10 кВ находящейся на балансе МУП «АЭС» Абаканские электрические сети. за период с 2018 по 2021 гг.

2. Выполнить анализ существующих средств автоматизации поиска мест повреждений в сетях 10 кВ.

3. Внести предложения по повышению эффективности определения мест повреждения в сетях 10 кВ на примере подстанции «Полярная» 110/10 кВ.

Объект исследования – линии 10 кВ, которые присоединены к ячейкам подстанции «Полярная» 110/10 кВ при возникновении в них аварийного режима работы.

Методы исследования. В основу работы положены следующие методы: анализ, обработка статистических данных.

Практическая значимость работы:

1. Предложено оборудование, позволяющее более оперативно выявлять поврежденный участок линии электропередач напряжением 10 кВ.

2. Определена эффективность применения данного оборудования.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались:

1. На XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2022» (г. Красноярск);

2. На Всероссийской научно-практической конференции «Научные исследования и современное образование» 05.05.2022;

3. На XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов

и молодых ученых «ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2023» (г. Красноярск);

4. При участии онлайн-семинарах QET academy на темы: «Цифровая подстанция. Практический опыт реализации проектов в России» (03.02.2022 г.), «Проектирование цифровых подстанций. Практический опыт» (01.06.2022 г.), «Релейная защита и автоматика. Новые разработки» (29.06.2022 г.).

Публикации работы. По материалам диссертационной работы опубликовано 2 статьи;

1. В сборнике материалов Всероссийской научно-практической конференции «НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ» (Чебоксары, 5 мая 2022 г.);

2. В материалах XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Рецензированный журнал Проспект Свободный – 2023 (Публикация РИНЦ), (г. Красноярск).

1 Анализ технологических нарушений и аварийных отключений подстанции «Полярная» 110/10 кВ МУП «АЭС»

Для анализа была выбрана подстанция «Полярная» 110/10 кВ расположенная г. Абакан и находящаяся на балансе электросетевой компании МУП «АЭС». Подстанция запитывается от двух линий С309 и С310. На подстанции установлены два трансформатора. Каждый трансформатор подключен к отдельной секции шин 10 кВ, эти секции связаны через систему АВР, первая секция шин запитана от первого трансформатора, и вторая секция шин запитана от второго трансформатора. Таким образом, секции, запитанные от разных трансформаторов, могут взаимно резервировать друг друга в случае аварии или ревизии трансформатора.

В распределительном устройстве подстанции установлены ячейки КРУ в количестве 32 шт., 27 из них оснащены выкатными элементами с вакуумными выключателями класса напряжения 10 кВ трехфазного переменного тока.

К вводам вторичной обмотки подключены трансформаторы собственных нужд подстанции, источники энергии для разных работ на подстанции при отключении сборных шин, при чистке или их ревизии.

Также к электрическим сетям, которые запитаны от подстанции «Полярная» 110/10 кВ подключены потребители 1, 2 и 3 категории — это многоквартирные и частные дома, детские сады и школы, КНС и другие социально значимые объекты.

Были проанализированы аварийные отключения ячеек с 2018 по 2021 год, определено количество недоотпуска электроэнергии и время устранения, связанное с технологическими нарушениями произошедшими на присоединенной к ячейкам электроэнергетической системы.

В (таблице 1) по данным отдела диспетчерской службы отображено количество аварийных отключений с 2018-2021 гг., недоотпуск электроэнергии и время устранения, подстанции «Полярная» 110/10 кВ которая находится на балансе электросетевой компании МУП «АЭС» Абаканские электрические сети [1].

Таблица 1 - Количество аварийных отключений с 2018-2021 гг

№ ячейки	Кол-во отключений в год				Недоотпуск электроэнергии МВт*ч	Время устранения
	2018	2019	2020	2021		
1	1	-	-	-	0,090	39 мин.
3	-	1	-	-	2,720	2 ч. 2 мин.
5	1	-	-	-	0,253	34 мин.
7	1	-	-	-	0,020	1ч. 33 мин.
8	-	-	-	3	5,087	11 ч. 10 мин.
17	-	-	-	1	0,000	0 ч. 0 мин.
18	2	3	2	2	13,333	18 ч. 54 мин.
19	1	-	1	1	0,354	4 ч. 30 мин.

Окончание таблицы 1

№ ячейки	Кол-во отключений в год				Недоотпуск электроэнергии МВт*ч	Время устранения
	2018	2019	2020	2021		
24	1	-	-	-	0,150	1 ч. 5 мин.
26	2	-	-	-	0,480	5 ч. 30 мин.
32	1	-	-	-	0,420	1 ч. 30 мин.
Итого:	10	4	3	7	22,952	47 ч. 05 мин.

По данным таблицы 1 можно сделать вывод о важности снижения числа и продолжительности аварийных отключений потребителей, питающихся от подстанции.

На основе имеющихся данных проведем анализ произошедших технологических нарушений за указанный период.

Отообразим на гистограмме, (рисунок 1), совокупность технологических нарушений в зависимости от номера ячейки подстанции, на которые эти нарушения пришлись. На линейчатом графике, (рисунок 2), так же отображена эта совокупность, но в процентном отношении к общему числу аварий.

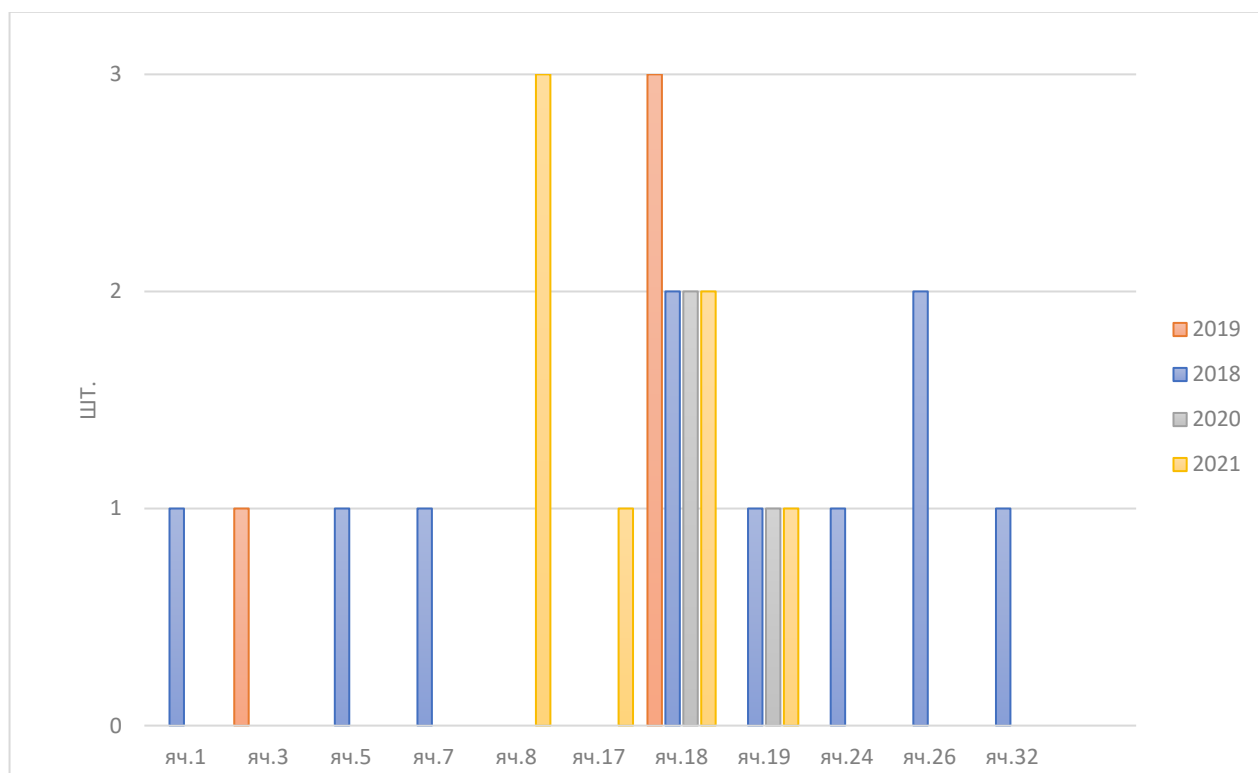


Рисунок 1 – Количество технологических нарушений по годам

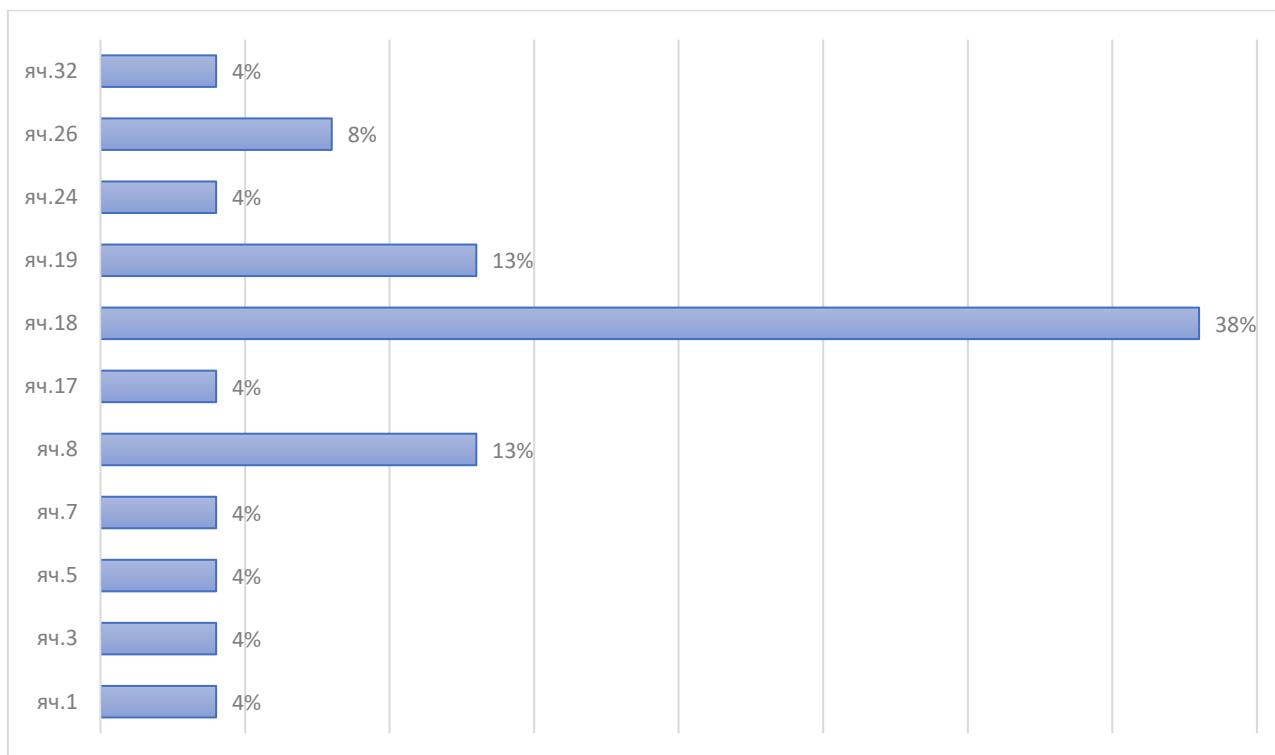


Рисунок 2 – Структура технологических нарушений

На диаграммах, представленных на рисунке 1 и рисунке 2, можно увидеть, что ячейка №18 наиболее часто попадает под аварийные отключения, что говорит нам о том, что, на линиях, запитанных от данной ячейки, часто происходят аварийные ситуации. Рекордным по частоте аварий является 2018 год.

На рисунке 2 в рассматриваемом периоде количество аварий в сетях запитанных от яч.18 находятся в значении 38% от общего числа аварий, яч.1,3,5,7,17,24,32 находятся в значении 4%, яч.8,19 в значении 13%, яч.26 в значении 8%.

В таблице 2 приведены характеристики оборудования, попавшего под аварийное отключение с 2018-2021 гг.

Таблица 2 - Оборудование, попавшее под отключение с 2018-2021 гг

Год	ВЛ-10кВ, км	КЛ-10кВ, км	ТП
2018	5,7	6,4	75
2019	7,2	8,6	64
2020	5,5	6,2	44
2021	6,2	7,4	48

Исходя из анализа попавшего под аварийное отключение оборудования (таблица 2), можно увидеть, что каждый год под аварийное отключение попадает большая протяженность линий электропередач, с подключенными к ним трансформаторными подстанциями, в связи с чем, потребители подключенные к этим трансформаторным подстанциям не получают необходимое для них

количество электроэнергии, и тем самым, сетевая организация предоставляющая данный вид услуг, терпит убытки, в виде недоотпуска электроэнергии. Важно проанализировать и найти современные решения для сокращения времени аварийного простоя линий электропередач.

Кроме количества технологических нарушений необходимо исследовать их негативное влияние на продолжительность перерывов в электроснабжении потребителей [42]. В таблице 3 приведены данные из журнала аварийных отключений. Основными характеристиками для анализа негативного влияния технологических нарушений являются величина недоотпуска электроэнергии в течение поиска и устранения повреждений и количество абонентов, отключенных от сети. Также в таблице отображены номера ячеек, в который произошла сработка релейной защиты в связи с технологическим нарушением, повреждаемое оборудование в котором произошло то или иное событие, количество повреждений, отображающее периодичность аварий, количество потребителей, попавших под отключение в связи с технологическим нарушением и недоотпуск электроэнергии сопутствующий убытку электросетевой компании.

Таблица 3 - Характеристики перерывов в электроснабжении

№ ячейки	Тип линии	Количество повреждений	Число потребителей 1 категории	Число потребителей 2 категории	Кол. потребителей 3 категории	Общее количество отключенных абонентов	Недоотпуск электроэнергии, кВт*ч
2018 год							
1	КЛ-10кВ	1	0	18	24	42	90
5	КЛ-10кВ	1	8	150	164	322	253
7	КЛ-10кВ	1	22	55	131	208	20
18	ВЛ-10кВ	2	8	57	1241	11754	5133
19	ВЛ-10кВ	1	12	0	0	36	150
24	КЛ-10кВ	1	53	56	44	153	120
26	КЛ-10кВ	2	24	35	24	166	480
32	КЛ-10кВ	1	23	187	214	424	420
Общее:		10	150	558	1842	13105	6666
2019 год							
3	КЛ-10кВ	1	69	154	663	886	2720
18	ВЛ-10кВ	3	8	57	1241	11754	1770
Общее:		4	77	211	1904	12640	4490
2020 год							
18	ВЛ-10кВ	2	8	57	1241	11754	5240
19	ВЛ-10кВ	1	12	0	0	36	84
Общее:		3	20	57	1241	11790	5324
2021 год							
8	ВЛ-10кВ	3	2	0	0	6	5087
17	КЛ-10кВ	1	6	16	7	29	0
18	ВЛ-10кВ	2	8	57	1241	11754	1190
19	ВЛ-10кВ	1	12	0	0	36	120
Общее:		7	28	73	1247	11825	6397

Проанализировав данные, приведенные данные в таблице 3, можно

увидеть, что самое большое количество технологических нарушений пришлось на 2018 год, сработка релейной защиты произошла в восьми ячейках, это самое большое количество отключений в рассматриваемом периоде. Также в 2018 году под отключение попало самое значительное количество потребителей всех категорий в сравнении с остальными годами. Что касается недоотпуска электроэнергии, мы видим, что количество недоотпуска электроэнергии находится примерно на одинаковом уровне с разницей в 5-10%. По данным, приведенным в таблице 3, видно, что в следующих рассматриваемых годах, количество ячеек на которых произошло срабатывание релейной защиты в связи с технологическими нарушениями сократилось практически в 2-3 раза, это говорит нам о том, что сетевая организация которая обслуживает рассматриваемое оборудование, провела работы по выявлению и устранению причин приводящих к технологическим нарушениям, тем самым сократив количество отключаемых объектов попадавших под отключение электроэнергии связанное с технологическими нарушениями в электроэнергетической системе.

На основании данных в таблице 3, построим диаграммы, показывающие количество повреждений на кабельных линиях и воздушных линиях напряжением 10 кВ к рассматриваемому году (рисунок 3), и процентное соотношение недоотпуска электроэнергии абонентов по отношению к их общей сумме по рассматриваемым годам (рисунок 4).

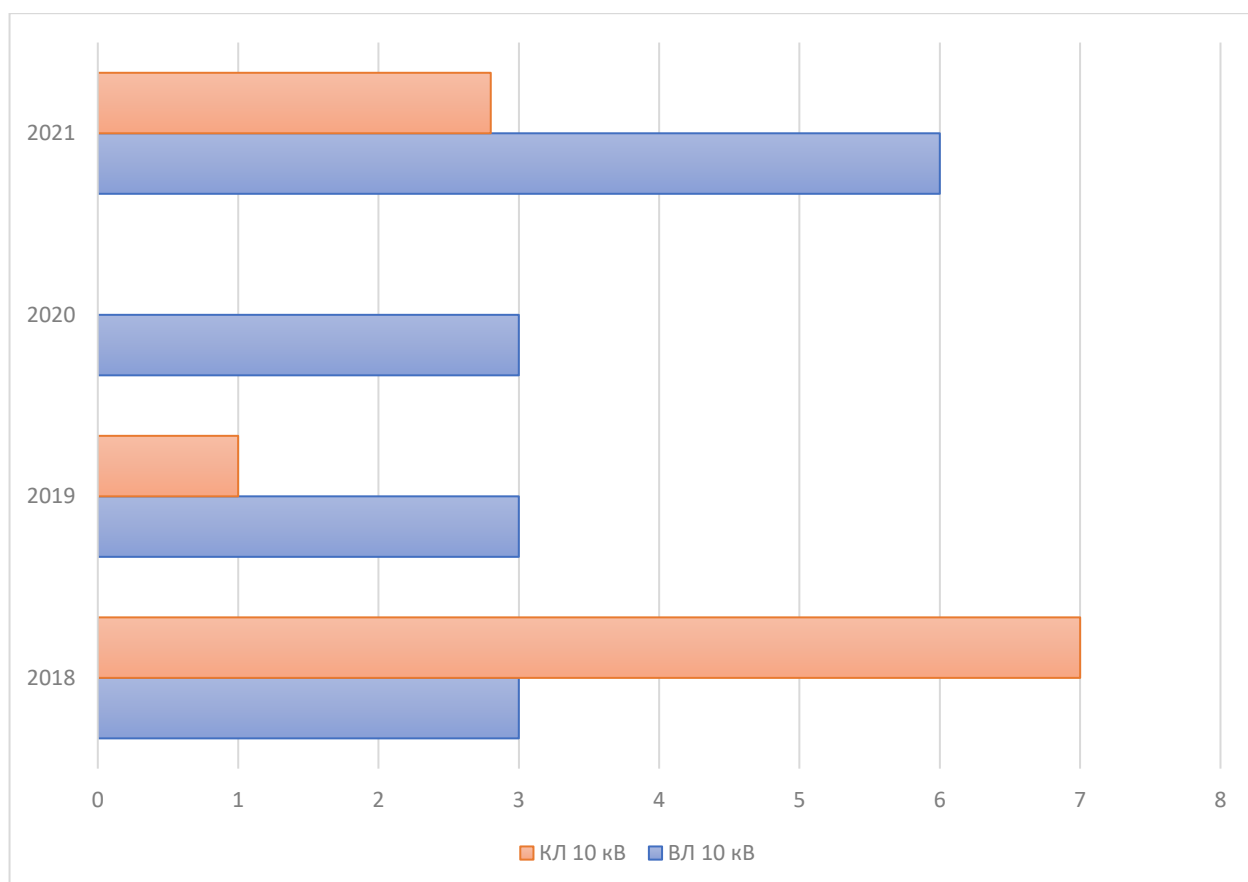


Рисунок 3 – Количество повреждений ЛЭП

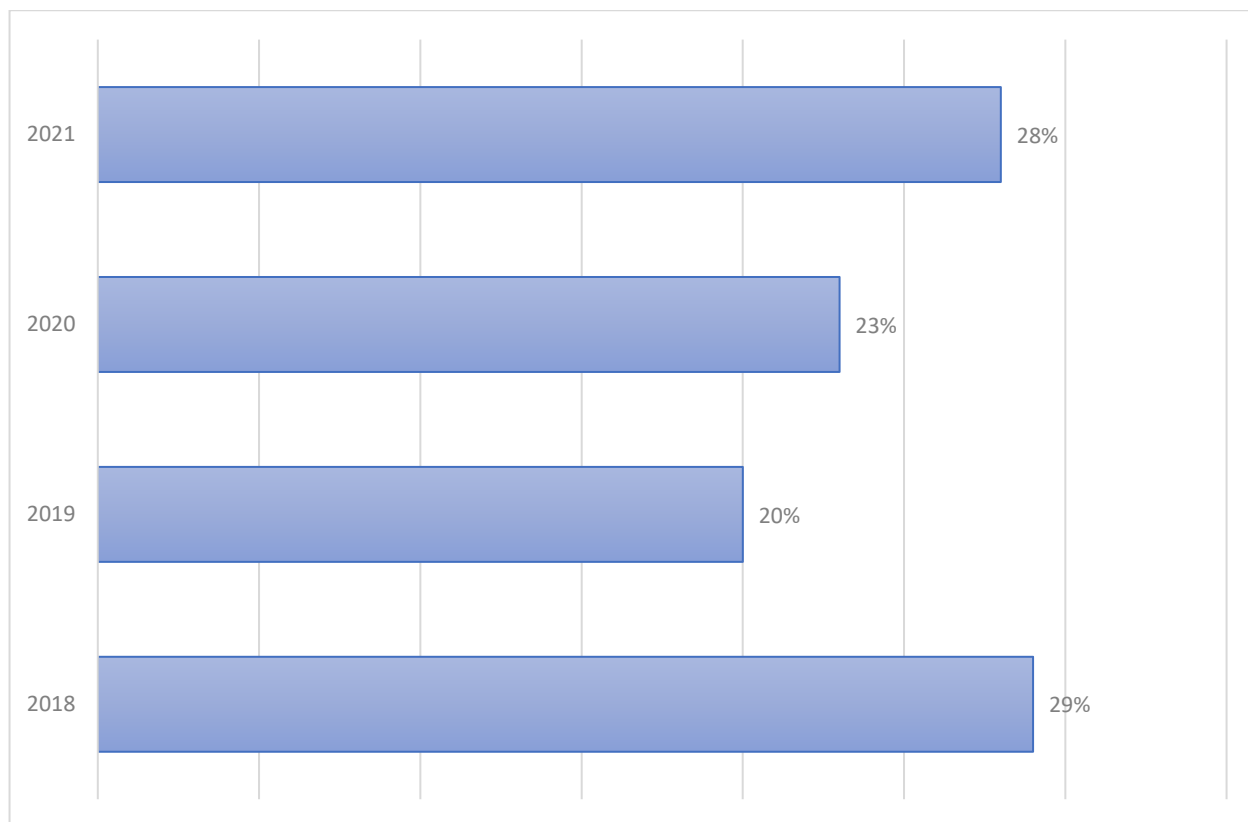


Рисунок 4 – Структура недоотпуска электроэнергии

На линейчатом графике (рисунок 3) можно увидеть, что максимальное количество технологических нарушений было на кабельных линиях в 2018 году, а максимальное количество технологических нарушений на воздушных линиях пришлось на 2021 год в рассматриваемом периоде. Процентное соотношение недоотпуска электроэнергии абонентов показано на линейчатом графике (рисунок 4).

На основании графиков становится видно, что наибольший ущерб потребителю нанесли технологические повреждения в 2018 году, произошедшие на кабельных линиях и в 2021 году произошедшие на воздушных линиях напряжением 10 кВ.

2 Анализ средств поиска повреждений на присоединениях «Полярная» 110/10 кВ

2.1 Алгоритм поиска технологических нарушений на ВЛ распределительных электрических сетей

В настоящее время электросетевая компания МУП «АЭС» использует очень малое количество современного оборудования, для поиска и локализации участка сети, который попал под технологическое нарушение. Рассмотрим алгоритм поиска мест повреждений [22]. Если на питающих подстанциях 10 кВ отсутствуют устройства обнаружения или выделения повреждений, то поиск поврежденного участка линии происходит путем деления линии и проведением

испытаний в разные стороны, с целью обнаружения направления повреждения.

При автоматическом отключении ВЛ, вызвавшем обесточивание потребителей, оперативный персонал должен включить выключатель отключившейся линии один раз вручную, в том числе и после неуспешного действия однократного АПВ. Перед включением необходимо вывести из действия устройство АПВ, если последнее не выводится автоматически [6].

Данные требования не распространяются на линии:

- выключатели которых не имеют дистанционного управления и не допускают включения на месте после автоматического отключения (привод не отделен от выключателя прочной защитной стеной, а выключатель имеет недостаточную разрывную мощность);

- подача напряжения, по которым после их автоматического отключения производится по согласованию с потребителем.

Если при опробовании такая ВЛ отключится вновь, то диспетчер имеет право через некоторое время вторично включить ее под напряжение, если другими мерами восстановить питание потребителей не удастся.

Включение линий толчком во время ликвидации технологического нарушения производится независимо от числа коротких замыканий, отключенных выключателем. Однако, если после ликвидации технологического нарушения окажется, что какой-либо выключатель отключил больше допустимого числа коротких замыканий, он должен быть немедленно выведен в ремонт, кроме случаев, когда это связано с ограничением потребителей. В последнем случае допускается оставить его в работе на срок не более 3-х дней.

Автоматически отключившаяся (в том числе и после неуспешного действия устройства АПВ) ВЛ опробуется напряжением и включается при:

- обесточивании или ограничении потребителей;
- недопустимой перегрузке одной или нескольких линий;
- недопустимом понижении напряжения в сети;
- существенном снижении надежности питания потребителей.

Опробуются напряжением ВЛ, устройство АПВ, на которых отключено или не установлено, за исключением коротких линий (длиной не более нескольких километров), проходящих в черте города.

Воздушные линии, после неуспешного АПВ, как правило, сначала проверяются прибором УПК (мегаомметром).

Если при проверке повреждений не обнаружено, то ВЛ опробуются напряжением, а в случае обнаружения повреждения-выводятся в ремонт.

Если в результате опробования напряжением ВЛ снова отключается, она опробуются напряжением и включаются только после выяснения ее состояния при обходе и осмотре.

Отключившиеся короткие ВЛ, проходящие в черте города, опробуются напряжением и включаются в только после выяснения их состояния при обходе.

Автоматически отключившиеся ВЛ опробуются напряжением и включаются под руководством диспетчера, если отключившаяся ВЛ находится в его оперативном управлении, или с его разрешения, если отключившаяся ВЛ

находится в его ведении, или оперативным персоналом самостоятельно, но с последующим уведомлением диспетчера.

При автоматическом отключении кабельной линии вызвавшем обесточивание потребителей 1 категории, оперативный персонал должен с разрешения диспетчера немедленно один раз включить вручную выключатель отключившейся линии [6].

В случае автоматического отключения кабельной линии с нарушением электроснабжения потребителей ниже 1 категории, оперативному персоналу необходимо выделить предполагаемый поврежденный участок и проверить исправность КЛ прибором УПК или мегомметром. По результатам проверки либо КЛ вводится в работу, либо выводится в ремонт, а потребители перезапитываются по резервным схемам.

Оперативный персонал должен производить ликвидацию технологического нарушения, не отвлекаясь на операции, связанные с решением второстепенных задач, сосредоточив свое внимание на решении главных вопросов.

Все переключения в аварийных условиях производятся оперативным персоналом в соответствии с ПТЭЭ, правилами по охране труда и местными инструкциями, при обязательном применении всех защитных средств без специального напоминания об этом со стороны вышестоящего оперативного персонала, отдающего распоряжения.

Дежурные ОВБ должны помнить, что при технологических нарушениях, связанных с потерей напряжения на подстанции, оно может быть подано в любой момент без предупреждения. При ликвидации технологического нарушения оперативный персонал не должен приближаться на опасное расстояние к токоведущим частям и проникать за ограждения и барьеры.

При ликвидации технологического нарушения оперативный персонал обязан производить необходимые операции с устройствами релейной защиты в соответствии с инструкциями и указаниями по эксплуатации РЗА.

При выполнении действий по ликвидации технологического нарушения оперативный персонал обязан руководствоваться следующим:

- при опробовании напряжением отключившегося оборудования следует немедленно вручную отключить выключатели при включении их на КЗ и отказе защиты или при неполнофазном включении. В этом случае оперативный персонал должен уметь отличить бросок тока нагрузки от тока КЗ. Признаком КЗ является резкое понижение напряжения одновременно с броском тока;
- при опробовании напряжением отключившихся линий следует предварительно отключить устройство АПВ, если последнее не выводится из действий автоматически.

При принятии решений по ликвидации технологического нарушения диспетчер должен учитывать самостоятельные действия оперативного персонала нижестоящего уровня выполняемые как при потере связи, так и независимо от потери связи. При восстановлении связи оперативный персонал обязан доложить о выполненных действиях по ликвидации технологического нарушения

вышестоящему диспетчеру.

Под отсутствием связи понимается не только нарушение всех видов связи, но и невозможность связаться с вышестоящим оперативным персоналом длительное время из-за плохой слышимости и перебоев в работе связи.

При отсутствии связи оперативный персонал подстанций, диспетчеры наряду с производством операций, указанных в настоящем разделе и местных инструкциях, обязаны принимать все меры к восстановлению связи с вышестоящим оперативным персоналом.

При этом должны быть использованы любые виды связи (междугородная, ведомственная, телетайпная, телефакс и т.д.), а также передача сообщений через персонал других объектов энергосистемы и при необходимости через оперативный персонал других ведомств, имеющих связь с вышестоящим оперативным персоналом.

При восстановлении связи подчиненный оперативный персонал должен доложить о самостоятельно проведенных операциях и далее действовать по указанию вышестоящего оперативного лица.

Ввиду разнообразия местных условий в настоящей инструкции даются лишь основные методы и направления ликвидации технологического нарушения при нарушении связи между оперативным персоналом. Оперативному персоналу запрещается самостоятельно:

- отключать транзитные линии и трансформаторы при исчезновении напряжения на шинах, за исключением случаев повреждения шин, оборудования, отказа выключателей;

- отключать выключатели отходящих линий при обесточивании шин и отсутствии повреждений на оборудовании, кроме допустимых инструкциями для оперативного персонала;

- включать линии, питающие потребителей, отключенных по графикам аварийных отключений, а также потребителей, отключенных в связи с дефицитом мощности действием устройств АЧР при частоте ниже уставок ЧАПВ.

При автоматическом отключении тупиковой линии и неуспешном действии АПВ оперативный персонал обязан включить отключившуюся линию еще раз вручную.

При исчезновении нагрузки по одной или нескольким транзитным линиям, выключатели, которых остались включенными, дежурный электростанции (подстанции) никаких операций не производит, контролируя только появление нагрузки.

Оперативному персоналу запрещается подавать напряжение от своей подстанции на те отключившиеся транзитные линии, по которым подается напряжение с противоположной подстанции.

Исключение из этого составляют случаи полной потери напряжения на каком-нибудь объекте при сохранении связи с оперативным персоналом других объектов.

В этом случае по просьбе оперативного персонала объекта, потерявшего

напряжение, на его шины может быть подано напряжение со стороны другого источника питания.

2.2 Пример поиска и устранения технологического нарушения

Восстановление электроснабжения потребителей при повреждении линии электропередачи выполняется силами оперативно-выездных бригад ОВБ [23]. Процесс восстановления работоспособности линии электропередач состоит из следующих этапов:

- поиск поврежденного участка сети;
- локализация поврежденного участка сети;
- включение тех нагрузок, которые могут быть включены при отсутствии в схеме поврежденного участка, (включение неповрежденных участков);
- обход поврежденного участка;

Рассмотрим в качестве примера алгоритм поиска повреждения и восстановления электроснабжения при аварийном отключении яч.18 ПС «Полярная» 110/10 кВ, когда место повреждения находится на участке между ТП-7 и ТП-8 (рисунок 5).

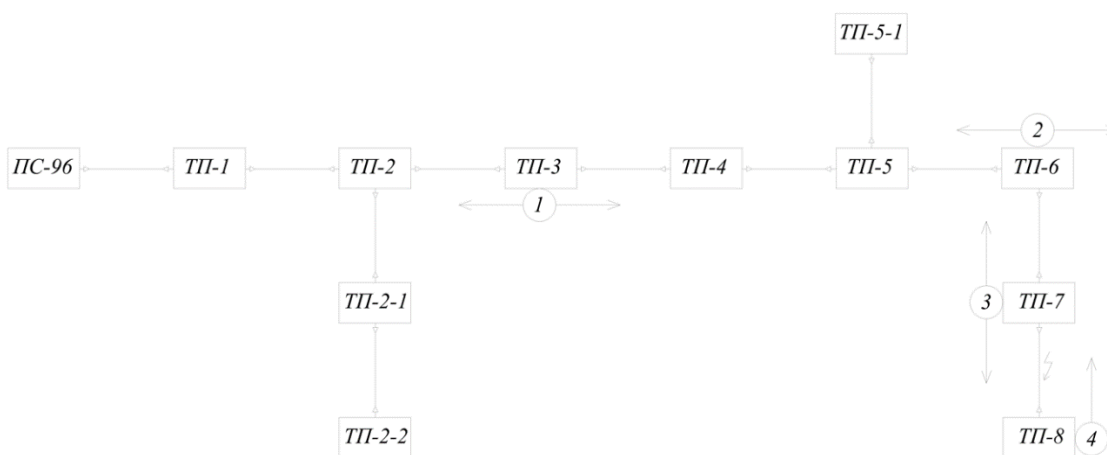


Рисунок 5 - Процесс поиска повреждений и восстановления электроснабжения при аварийном отключении ЛЭП

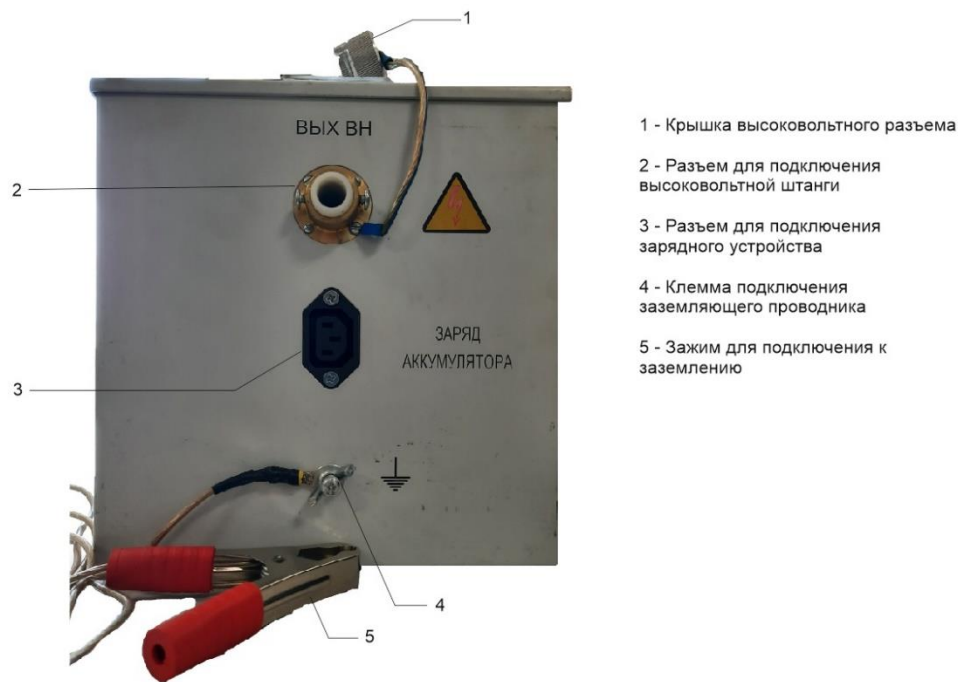
При аварийном отключении выключателя линии электропередач оперативно-выездная бригада по команде диспетчера выполняет пробное включение отключившегося выключателя на ПС «Полярная», перед включением необходимо вывести из действия устройство АПВ, если последнее не выводится автоматически.

Если включение оказывается неуспешным, то диспетчер имеет право через некоторое время вторично включить ее под напряжение, если другими мерами восстановить питание потребителей не удастся, если повторное включение неудачно значит в линии устойчивое короткое замыкание. В случае отсутствия дополнительной информации о месте или направлении повреждения, диспетчер анализирует весь отключившийся участок ЛЭП, делит ее на части, после чего

через средства радиосвязи отдает оперативно-выездной бригаде команды с действиями, для поиска места повреждения.

Диспетчер, определив центральную подстанцию в линии электропередач (в нашем случае это ТП-3), в которой произошло аварийное отключение, отдает команду оперативно-выездной бригаде прибыть на данную подстанцию с целью определения направления от данной подстанции короткого замыкания. Определение направления короткого замыкания производится с помощью указателя повреждения кабеля УПК-04М (рисунок 6), после определения направления КЗ (в нашем случае это в сторону последней подстанции ТП-8 (рисунок 5)) диспетчер подает команду оперативно выездной бригаде об подачи напряжение на участок линии у которой отсутствует короткое замыкание (в нашем случае это от ПС-96 до ТП-3). Далее диспетчер делит пополам оставшуюся линию, в сторону которой было определено КЗ (в нашем случае от ТП-3 до последней подстанции ТП-8) определив центральную подстанцию на участке линии (в нашем случае это ТП-6), диспетчер отдаваемой командой отправляет бригаду ОВБ на ТП-6 для дальнейшего определения направления короткого замыкания участка линии. Бригада ОВБ прибыв на трансформаторную подстанцию с помощью УПК-04М (рисунок 6), определяет направление КЗ (в нашем случае это от ТП-6 в сторону последней подстанции ТП-8), также по команде диспетчера бригада ОВБ подает напряжение на участок линии на котором отсутствует короткое замыкание (в нашем случае это от ТП-3 до ТП-6). Диспетчер, оценив оставшийся участок линии в сторону которого было определено короткое замыкание и поняв, что центральной подстанцией на данном участке линии является ТП-7, отправляет бригаду ОВБ на данную подстанцию с целью определения направления участка линии, которая находится на коротком замыкании. Прибывшая бригада ОВБ на ТП-7 с помощью УПК-04М производит испытания линий в сторону ТП-6 и ТП-8, определив направление короткого замыкания (в нашем случае это от ТП-7 в сторону ТП-8), также по команде диспетчера бригада ОВБ подает напряжение на участок линии на котором отсутствует короткое замыкание (в нашем случае это от ТП-6 до ТП-7). Диспетчер, оценив последний участок линии который не прошел испытания которые проводились с помощью прибора УПК-04М (рисунок 6), и поняв что этот участок линии в данной цепи последний (в нашем случае это от ТП-7 до последней подстанции ТП-8), отправляет бригаду ОВБ на ТП-8 для проведения испытания участка линии от ТП-8 в сторону ТП-7 и получения подтверждения что данный участок сети находится на повреждении.

Затем в зависимости от исполнения линии электропередачи, ОВБ переезжает к поврежденному участку и обходит его с целью установления точного места повреждения. В зависимости от характера повреждения ремонт выполняется силами оперативно выездной бригады или с привлечением ремонтной бригады. Полное восстановление электроснабжения потребителей завершается подачей напряжения на отремонтированный участок.



- 1 - Крышка высоковольтного разъема
- 2 - Разъем для подключения высоковольтной штанги
- 3 - Разъем для подключения зарядного устройства
- 4 - Клемма подключения заземляющего проводника
- 5 - Зажим для подключения к заземлению

Рисунок 6 - УПК-04М

Прибор УПК-04М (рисунок 6) [13], предназначен для оперативного контроля состояния изоляции (измерения сопротивления) компонентов высоковольтной аппаратуры с рабочим напряжением от 0,5 до 15 кВ (кабелей, электродвигателей, трансформаторов, изоляторов, переключателей и т.п.) применяемой в городских электросетях, а также в системах энергоснабжения промышленных предприятий.

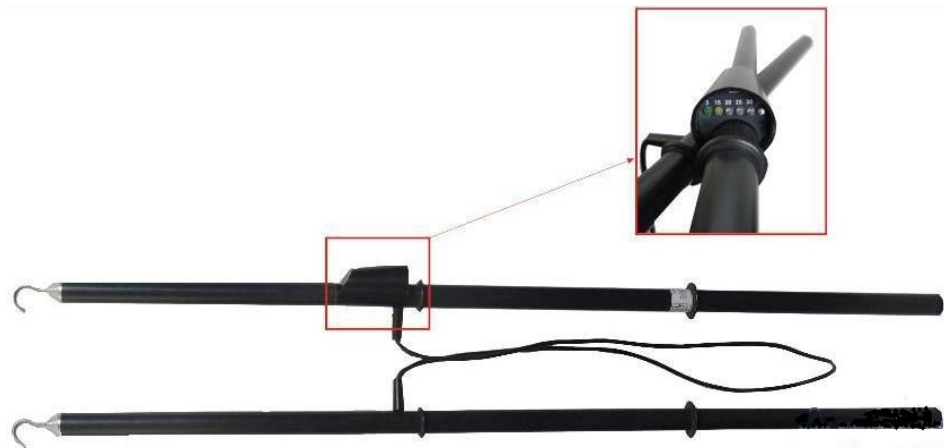


Рисунок 7 - УПП-10М

Устройство поиска повреждений типа УПП-10М (рисунок 7) [13] предназначено для применения в воздушных и кабельных электрических сетях 6-10кВ оперативно выездными бригадами (ОВБ) для ускорения выявления аварийных линий или их участков при наличии коротких замыканий (КЗ) на земле.

Устройство позволяет исключить пробные включения при возможном коротком замыкании, опасного для оборудования и персонала, особенно в сетях

с наличием токов коротких замыканий. Устройство также может использоваться при фазировке сети 6-10кВ.

2.3 Эффективность УПК-04М и УПП-10М с точки зрения перерыва в электроснабжении

Общая протяженность отдельных линий электропередач доходит до 20 км с большим числом ответвлений, и, помимо большой протяженности, они характеризуются также разветвленностью. Процесс поиска и локализации повреждения выполняется оперативными выездными бригадами путем осмотра и оперативных переключений в поврежденной линии, поэтому длительность прекращения электроснабжения потребителей зачастую составляет от нескольких часов до суток.

Как свидетельствует статистика, большая часть времени, затрачиваемая на устранение последствий аварии, приходится на отыскание места повреждения. Это связано с тем, что поиск большинства повреждений выполняется путем разделения сети на отдельные участки с последующей проверкой на наличие повреждения. Оптимизация поиска повреждения на базе решения классической комбинаторной задачи и оборудования п.2.4 в этом случае не приводит к существенному уменьшению времени поиска мест повреждений.

Несомненно, прибор УПК-04М и УПП-10М позволяет произвести измерение сопротивления и дать четкое понимание присутствия повреждения на измеряемом участке линии электропередач, но данные приборы совместно с применяемой методикой, не эффективен с точки зрения перерыва электроснабжения. Внедрение новых методов и средств определения мест повреждений может дать значительный технико-экономический эффект в связи с сокращением перерывов в электроснабжении, уменьшением объема ремонтных работ, снижением транспортных расходов для выполнения оперативных переключений и осмотра трасс линий электропередачи.

3 Современное оборудование для поиска мест повреждений в сетях 6-10 кВ

За последнее время, в области энергетики, было разработано очень много нового технологически прорывного оборудования, которое было применено в электроэнергетических системах [47], и на протяжении многих лет работы, зарекомендовало себя с положительной стороны.

Проанализировав состав электрических сетей, подключенных к ячейкам, установленных в ПС «Полярная» 110/10 кВ, и основываясь на характере технологических нарушений, произошедших на этих линиях, было выбрано оборудование, с целью рассмотрения функционала и возможности применения к электроэнергетическим сетям, в которых происходят технологические нарушения.

3.1 Комплект индикаторов короткого замыкания ИКЗ-В54Л-УЗ (6-35 кВ)

Комплект индикаторов ИКЗ [13] предназначен для определения поврежденного участка на воздушных линиях ВЛ распределительных электросетей напряжением 6-35 кВ, частотой сети 50 Гц, с любым типом нейтрали. Индикаторы относятся к приборам типа указатель поврежденного участка и могут эксплуатироваться на линиях вне зависимости от конфигурации подвеса и количества цепей с диаметром провода 5-40 мм.

Комплект состоит из трех индикаторов, контролирует и осуществляет непрерывный мониторинг тока и напряжения в каждом фазном проводе воздушной линии передач, обеспечивает совместную обработку данных, и передачу данных на сервер сбора данных. Обладает чувствительностью к низким токам аварийного процесса, фиксируя однофазные замыкания на землю от 0,5 А. Комплекты определяют направление протекания аварийного тока и указывают оперативно-выездной бригаде направление поиска места аварии. Каждый из индикаторов устанавливается непосредственно на провод (рисунок 8).

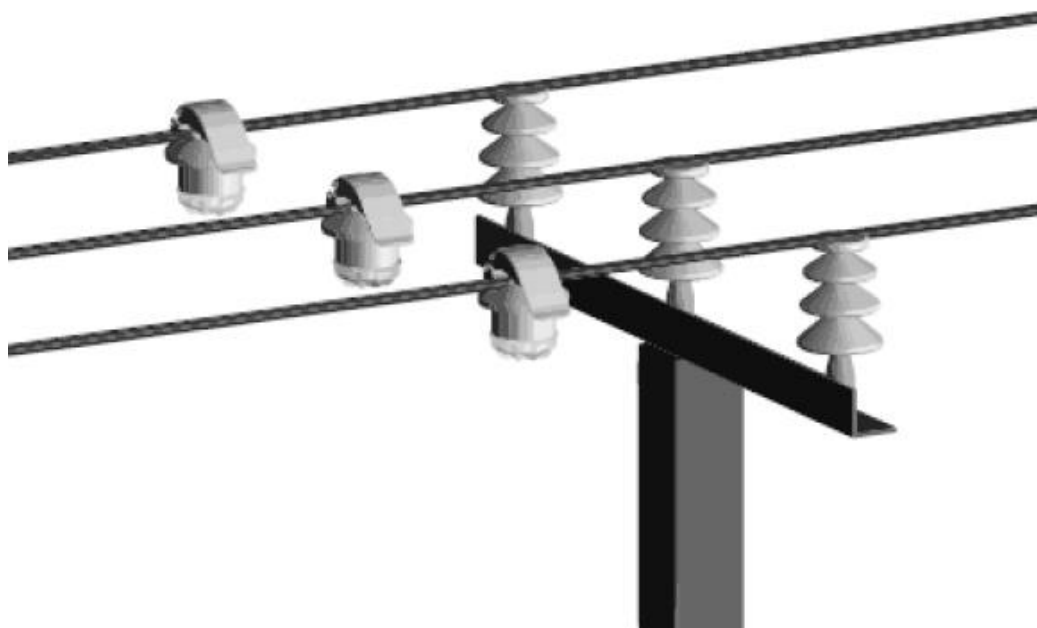


Рисунок 8 - Пример установки индикаторов на провод ВЛ

Для монтажа/демонтажа индикатора предусмотрен специальный инструмент, устанавливающийся на монтажную штангу, и позволяющий производить работы без отключения линии (рисунок 9).

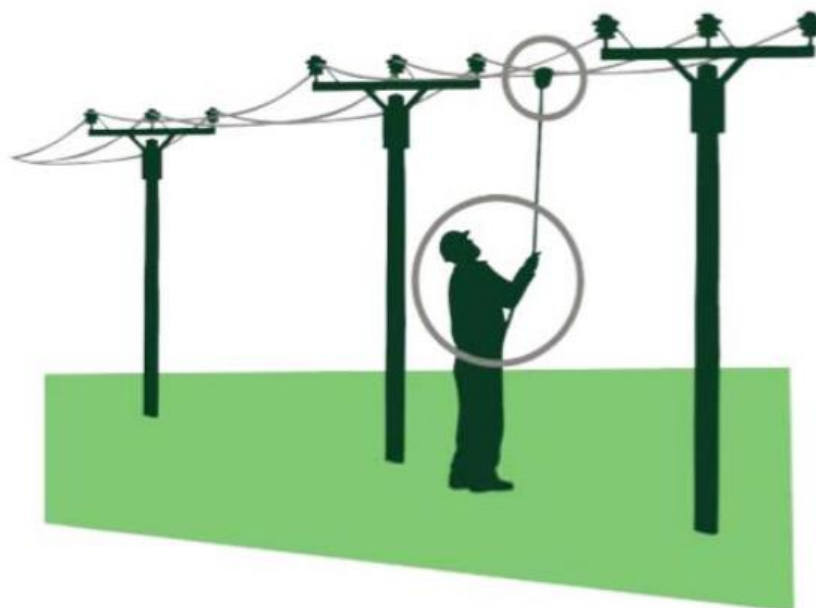


Рисунок 9 - Установка индикатора ИКЗ-В54Л без отключения подачи напряжения

Каждый индикатор комплекта передает информацию об аварийных ситуациях по радиоканалу ближней связи (радиосвязь стандарта Bluetooth Low Energy BLE 2.4 ГГц.). Получение информации и настройка приборов осуществляется с помощью пульта дистанционного управления: смартфона или планшета, с установленным специальным ПО ППИ-3. Индикатор оборудован радиоканалом ближней связи и GSM-каналом передачи данных, для передачи информации от индикаторов к серверу сбора данных. Диспетчер может получить данные, подключаясь к серверу сбора данных и обработки данных, используя программное обеспечение, поставляемое компанией АНТРАКС – «КОМОРСАН Web-клиент», или через собственную SCADA-систему получая данные с сервера КОМОРСАН по протоколу передачи данных по ГОСТ Р МЭК 60870-5-104. Также может быть организовано СМС оповещение о произошедших событиях с указанием GPS координат. Считывание GPS координат происходит после перезагрузки и при подаче команд с пульта дистанционного управления или через КОМОРСАН. Индикатор производит постоянный мониторинг заряда батареи. Если заряд меньше 20%, светодиод производит сдвоенную вспышку желтым цветом каждые 5 сек. В этом случае необходимо заменить батарею.

3.2 Индикатор короткого замыкания «ДСИ-КЛ»

Индикатор короткого замыкания «ДСИ-КЛ» (рисунок 10) [12] служат для определения места повреждения на кабельных линиях электропередачи среднего напряжения 6-35 кВ.

Принцип действия ИКЗ «ДСИ-КЛ» основан на непрерывном измерении тока в линии и анализе изменений, происходящих в момент короткого замыкания.



Рисунок 10 - ДСИ-КЛ

В момент возникновения аварии – межфазного или однофазного замыкания (МФЗ или ОЗЗ) в линии возникает аварийный ток. ИКЗ, расположенные на пути протекания аварийного тока, переходят в активный режим (включают непрерывную сигнализацию светодиодами основного блока и выносной лампы).

Остальные ИКЗ остаются в дежурном режиме с выключенной сигнализацией.

Оперативная бригада, ориентируясь на сигналы ИКЗ, сразу направляется на аварийный участок без необходимости обследования линии на всем ее протяжении.

Возврат ИКЗ в дежурный режим может производиться автоматически (по истечении заданного времени), вручную (нажатием кнопки на панели прибора) или дистанционно (по команде диспетчера).

3.3 Контроллер программируемый логический ПЛК110

Контроллер ПЛК110 [11] выпускается в различных исполнениях, отличающихся типом встроенных дискретных выходных элементов, напряжением питания, количеством точек ввода-вывода и различными лицензионными ограничениями на размер памяти области ввода-вывода программ (рисунок 11). Контроллер предназначен для создания систем автоматизированного управления технологическим оборудованием в энергетике, на транспорте, в т.ч. железнодорожном, в различных областях промышленности, жилищно-коммунального и сельского хозяйства. Логика работы контроллера определяется потребителем в процессе программирования контроллера. Программирование осуществляется с помощью программного обеспечения CoDeSys 2.3. При этом поддерживаются все языки программирования, указанные в МЭК 61131-3.



Рисунок 11 - Контроллер ПЛК110

Контроллер ПЛК110 может быть использован как:

- специализированное устройство управления выделенным локализованным объектом;
- устройство мониторинга локализованного объекта в составе комплексной информационной сети;
- специализированное устройство управления и мониторинга группой локализованных объектов в составе комплексной информационной сети.

Преимущества контроллера ПЛК110:

- наличие встроенных дискретных входов/выходов;
- скоростные входы для обработки энкодеров;
- ведение архива работы оборудования или работа по заранее оговоренным сценариям при подключении к контроллеру USB-накопителей;
- простое и удобное программирование в системе CODESYS v.2 через порты USB Device, Ethernet, RS-232 Debug.
- передача данных на верхний уровень через Ethernet или GSM-сети;
- 4 последовательных порта RS-232, RS-485 для увеличения количества входов/выходов, управления частотными преобразователями, подключения панелей операторов, GSM-модемов, считывателей штрих кодов и т.д. (Рисунок 12).

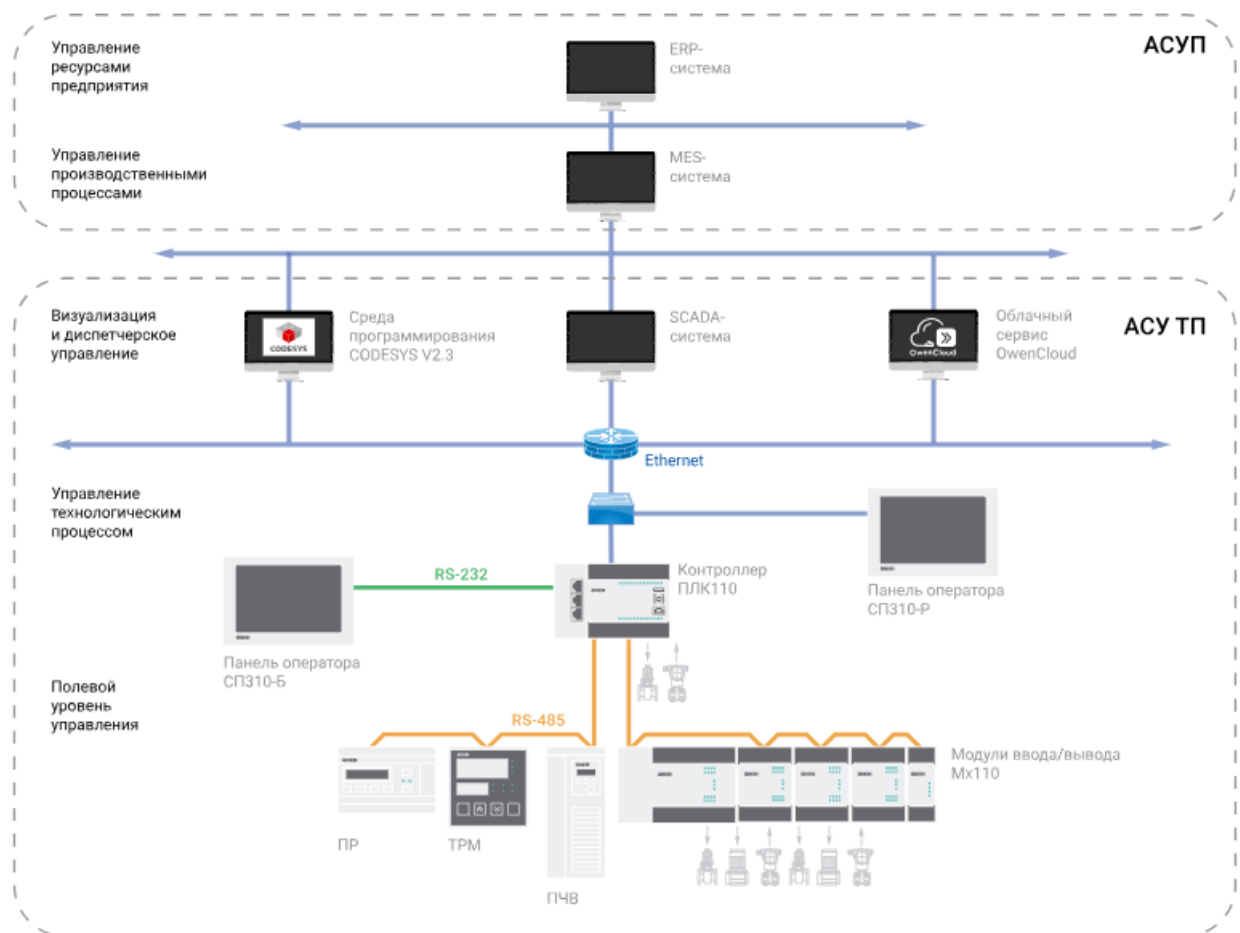


Рисунок 12 - Схема применения ПЛК110

Такая система обеспечивает высокую скорость передачи данных с метками времени в единый диспетчерский пункт. В случае если, в ячейках установлены терминалы РЗА, телеизмерения поступают на контроллер по интерфейсу RS-485.

3.4 Указатель «Вектор» для определения места однофазного замыкания на землю

Переносной цифровой указатель «Вектор» (рисунок 13) [13] предназначен для определения места однофазного замыкания на землю ОЗЗ в воздушных линиях электропередачи ВЛ напряжением 6-35 кВ.



Рисунок 13 - Цифровой указатель «Вектор»

Указатель «Вектор» состоит из пластмассового корпуса с дисплеем. На дисплее прибора при применении его на поврежденной ВЛ высвечивается вращающаяся стрелка, показывающая направление движения к месту ОЗЗ. С левой стороны на дисплее высвечиваются также два индикатора: напряжения питания прибора и интенсивности контролируемого сигнала.

Датчики для контроля электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля ВЛ находятся внутри прибора в передней его части. Кнопка включения находится в правом нижнем углу. Батарейный отсек расположен с задней стороны. Отключение прибора – автоматическое, через две минуты после включения.

Если поврежденная ВЛ неизвестна, поиск места ОЗЗ начинается с питающей подстанции, на которой появился сигнал «земля в линии». В этом случае последовательно по каждой линией, отходящей от подстанции, необходимо определить направление поиска по стрелке на дисплее. Если стрелка будет указывать направление поиска на питающую подстанцию, то данная ВЛ не повреждена. Поврежденная ВЛ определяется по направлению поиска от питающей подстанции (рисунок 14).

Измерения производятся на расстоянии не менее 15 м от деревьев и строений, а также в тех местах, где участки проверяемых отходящих линий находятся на расстоянии не менее 20 м друг от друга.

Для полного убеждения в работоспособности указателя, необходимо стоять под проводами ВЛ и удерживая указатель перед собой в произвольном положении, повернуться на произвольный угол. На дисплее должно сохраниться прежнее направление стрелки на подстанцию или от нее.

При поиске места ОЗЗ, стоя лицом к линии, необходимо располагать указатель перед собой горизонтально, так, чтобы удобно было наблюдать изображение на дисплее. Во избежание экранирования электромагнитного поля линии не допускается наличие вблизи оператора с указателем других людей, машин, тракторов, опор ВЛ. Деревьев и других предметов.

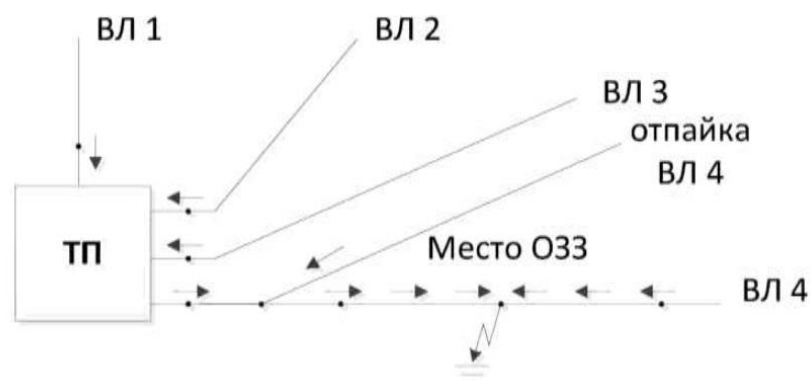


Рисунок 14 - Схема определения по направлению поиска от питающей подстанции

Выбор конкретного места на намеренном для измерения участке производится, ориентируясь на индикатор интенсивности контролируемого сигнала, т.е. выбрать место, где показания индикатора максимальны. Если параллельно с поврежденной ВЛ проходит еще одна ВЛ, то производить поиск нужно со стороны, поврежденной ВЛ.

Если поврежденная ВЛ известна, то не обязательно проходить всю трассу. Поиск можно начать с любой точки линии. Для сокращения времени на первом этапе определение направления рекомендуется проводить в точках, удобных для подъезда автомобиля поисковой бригады.

Если стрелка указателя показала направление противоположное указанному, то место ОЗЗ расположено между двумя последними точками поиска.

При прохождении вдоль трассы мимо места ОЗЗ стрелка на дисплее указателя плавно поворачивается (рисунок 15), все время показывая на место ОЗЗ, указатель «Вектор» позволяет найти неисправность, даже если она визуалью нераспознаваема.

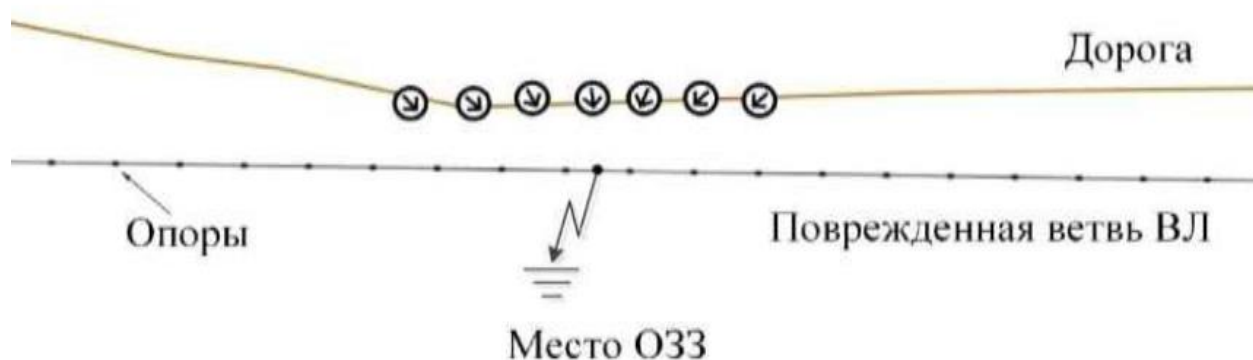


Рисунок 15 - Указания стрелки на ОЗЗ

3.5 Мир Air комплект приборов для ОМП воздушных линий 0,4; 6-10 кВ

Портативный комплект приборов МИР Air [13] предназначен для отыскания мест повреждений на воздушных линиях номинальным напряжением

0,4; 6-10 кВ (рисунок 16). В большинстве режимов работы не требует подъема на опору, что значительно ускоряет и упрощает работу оператора.



Рисунок 16 - Комплект Мир Air

Набор приборов МИР Air в своей комплектации имеет все необходимое для реализации отыскания мест повреждений и, более того – последующего ВВ испытания линии после ремонта дефекта – генератор, локатор переменного и постоянного тока, высоковольтные бустеры, а также штанги для подвешивания контактных датчиков. С помощью данного оборудования можно обнаружить такие виды повреждений как – низкоомное, высокоомные и дуговые повреждения (рисунок 17).

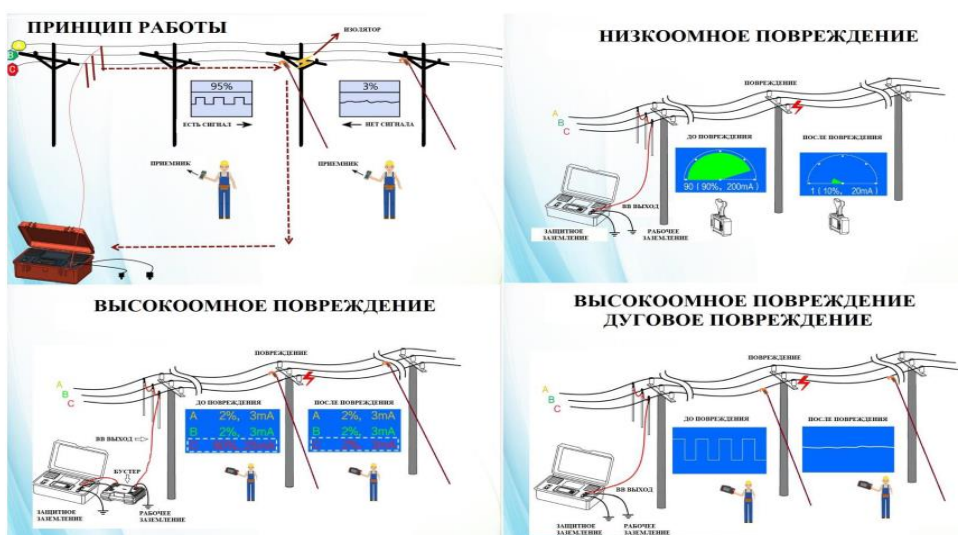


Рисунок 17 - Устраняемые виды повреждений

Началу отыскания повреждения предшествует анализ характера повреждения, когда генератор измеряет параметры линии, и на основе полученных результатов дает рекомендации об использовании того или иного метода. В арсенале оператора есть возможность генерации в линию переменного

и постоянного тока низкого напряжения, когда имеет место низкоомное повреждение, либо возможна генерация с помощью дополнительных бустеров сигнала высокого потенциала, что позволяет отыскивать высокоомные и дуговые повреждения.

В месте повреждения сигнал, подаваемый Генератором, стекает на заземленную конструкцию или поверхность, и место повреждения может быть детектировано с помощью локаторов. Оператор производит дробление линии и выделение поврежденного участка, и методом последовательных итераций выходит на место повреждения.

В большинстве случаев успешно реализуется метод отыскания повреждений на переменном токе. Это позволяет оператору работать с локатором «с земли». Нет необходимости подниматься на опоры, сигнал детектируется непосредственно под линией. Регистрация повреждения очень проста: до повреждения локатор определяет сигнал, а в участке после повреждения сигнал отсутствует. Так же можно производить межевание разветвленных линий: сигнал пойдет в участок, в котором есть повреждение. В отдельных случаях требуется подача высоковольтного сигнала в линию, например, при дуговых повреждениях. Но принцип отыскания остается прежним, и локатор улавливает сигнал, идущий от генератора к месту повреждения.

3.6 КВАНТ прибор сигнализации замыканий на землю линии 0,4 – 35 кВ

Прибор «Квант» (рисунок 18) [13], предназначен для контроля тока нагрузки и определения мест повреждения в распределительных электросетях.



Рисунок 18 - КВАНТ прибор сигнализации замыканий на землю

Прибор обеспечивает:
- контроль исправности прибора;

- контроль наличия напряжения на воздушных линиях (ВЛ) электропередач 6-35 кВ.

- контроль тока нагрузки на ВЛ 0,4-35 кВ;

- определение места замыкания на землю в сетях 6-35 кВ;

- определение места обрыва провода в сетях 6-35 кВ;

- определение опоры, находящейся под напряжением 6-35 кВ;

- световую проверку исправности обесточенных предохранителей или целостности электрической цепи.

В режиме «КОНТР.» напряжение источника питания подается на выходной преобразователь, нагрузкой которого служит микроамперметр. При исправности источника питания и выходного преобразователя стрелка прибора отклоняется на 90-150 делений шкалы.

Контроль наличия напряжения 6-35 кВ осуществляется с помощью встроенной электрической антенны. Электрической антенной служит металлическая пластина, расположенная в передней части прибора. Сигнал с электрической антенны через усилитель, активный фильтр (50 Гц) и усилитель, поступает на выходной преобразователь. Отклонение стрелки микроамперметра сигнализирует о наличии электрического поля частотой 50 Гц. Для изменения, в случае необходимости, чувствительности прибора к электрическому полю служит резистор R35.

Контроль тока нагрузки ВЛ (рисунок 19) осуществляется с помощью магнитного датчика. Магнитным датчиком служит катушка индуктивности с разомкнутым стержневым ферритовым сердечником, которая расположена в правой части прибора. Катушка является частью колебательного контура, настроенного на частоту 50 Гц. Через усилитель, активный фильтр 50 Гц и усилитель, сигнал с магнитного датчика поступает на выходной преобразователь. Пределы регулируемого тока (20 А, 50 А, 100 А) указаны для ВЛ 0,4 кВ. Для изменения чувствительности прибора служат резисторы R32, R33 и R34 соответственно для пределов 100 А, 50 А и 20 А.

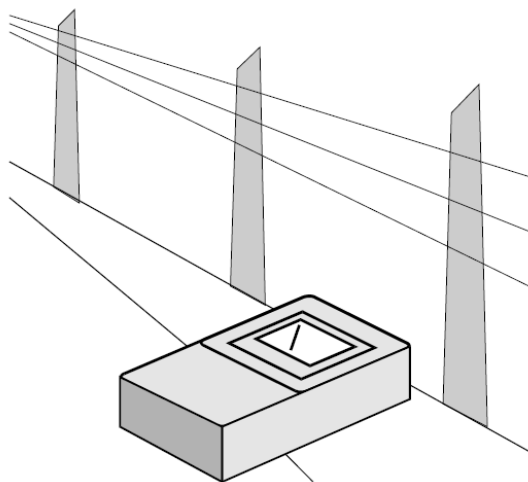


Рисунок 19 - Положение прибора «Квант» у ВЛ при контроле тока нагрузки, наличия напряжения и поиске замыкания на землю

Определение места замыкания на землю в сетях 6-35 кВ рисунок 11

основано на измерении вблизи ВЛ уровня высших гармонических составляющих магнитного поля тока нулевой последовательности с помощью магнитного датчика, настроенного, в этом режиме, на частоту 550 Гц, поступает на выходной преобразователь. Коэффициент передачи усилителя можно изменять в соотношении 1:1000; 1:100; 1:10; 1:1 в зависимости от уровня тока замыкания на землю.

Проверка исправности предохранителей. Светодиод контроля предохранителей питается с выхода логического инвертора, на вход которого через резистор подается уровень логического нуля. При замыкании кабеля через исправный предохранитель вход инвертора подключается к уровню логической единицы. На выходе появляется уровень логического нуля, включающий светодиод.

3.7 Рефлектометр импульсный РИ-303ВМ «СТРИЖ»

РИ-303ВМ (рисунок 20) [13] предназначен для проведения следующих измерений на симметричных и несимметричных кабелях с волновым сопротивлением от 30 до 400 Ом:

- измерение длин кабелей;
- измерение расстояний до неоднородностей волнового сопротивления или повреждений;
- измерение коэффициента укорочения линии при известной ее длине;
- определение характера повреждений;
- отображение результатов измерений на экране ЖКИ с разрешающей способностью 320 x 240 точек и сохранением их в памяти.

РИ-303ВМ является малогабаритным прибором, предназначенным для работы как в полевых, так и в стационарных условиях.



Рисунок 20 - Рефлектометр-тестер РИ-303ВМ «СТРИЖ»

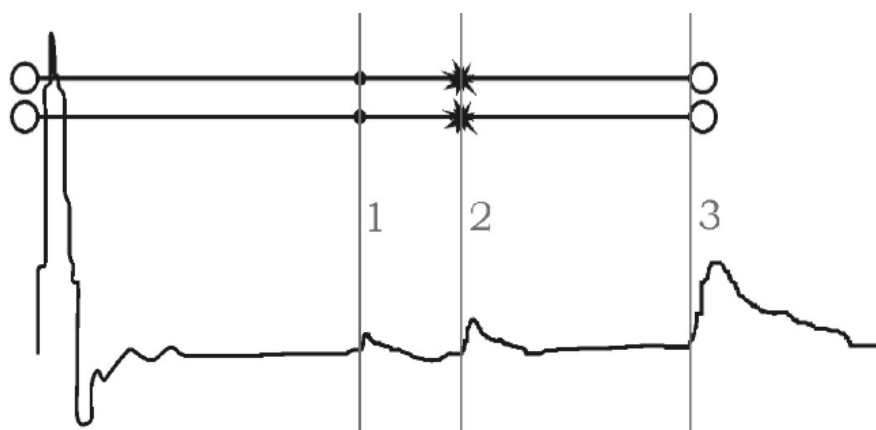


Рисунок 21 - Определение расстояния до муфт, скруток, обрывов

Отражение от неоднородности (рисунок 21), характеризующей срутку кабеля, выражается в наличии отклика положительной полярности. По величине отраженного отклика можно судить о качестве выполнения срутки кабеля. Рефлектометр позволяет различить несколько дискретных неоднородностей. В положении курсора 1 наблюдается отраженный импульс положительной полярности, указывающий на наличие соединения в кабельной линии. Соединение в положении курсора 2 выполнено хуже предыдущего соединения. Отраженный импульс в положении курсора 3 указывает на обрыв (конец) кабельной линии.

Отражение от неоднородности, характеризующей короткое замыкание жил кабеля, выражается в наличии отклика отрицательной полярности, и является частным случаем пониженного сопротивления изоляции. По величине отраженный импульс практически равен импульсу, отраженному от конца кабеля. В положении курсора 1 (рисунок 22), наблюдается отраженный импульс отрицательной полярности, указывающий на наличие короткого замыкания в кабельной линии. Отраженный импульс от конца кабельной линии отсутствует.

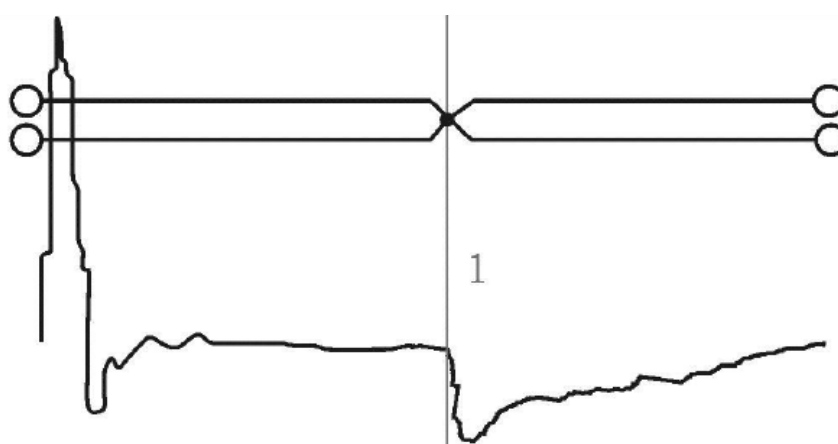


Рисунок 22 - Определение расстояния до короткого замыкания между жилами

Неоднородность, связанная с появлением влаги в сердечнике кабеля, относится по своему характеру к протяженной. “Замокший” участок

характеризуется пониженным сопротивлением и случайной величиной диэлектрической проницаемости изоляции. Для оценки длины “Замокшего” участка кабеля, необходимо выставить курсор на начало “Замокшего” участка, а затем установить точку отсчета на конец кабеля и вычислить длину не замкнутого участка от конца кабеля. На рефлектограмме (рисунок 23), участок начинается в положении курсора 1 и заканчивается в положении курсора 2.

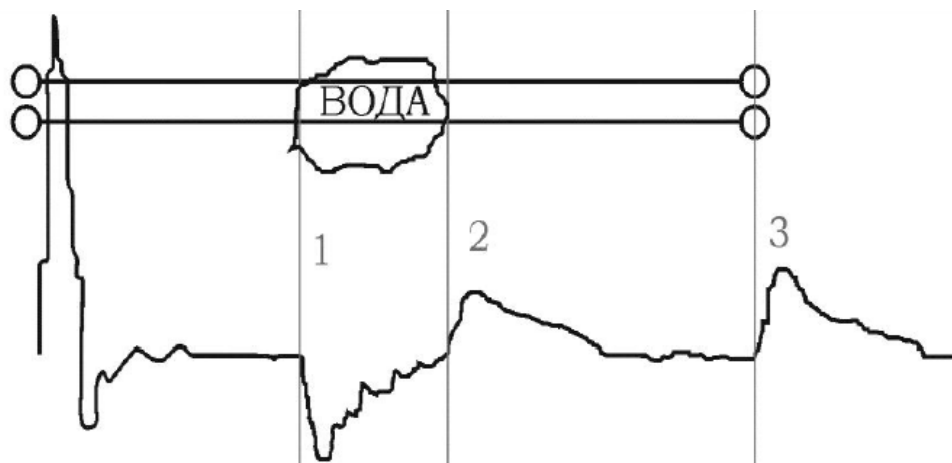


Рисунок 23 - Определение расстояния до “Замокшего” участка кабеля

Неоднородность, связанная с наличием ответвлений также по характеру, является протяженной. По виду рефлектограммы отвод напоминает замыкание кабеля. Разница заключается в том, что отвод представляет собой равномерный участок. Для определения расстояния до места отвода необходимо выставить курсор на начало неоднородности. Если длина отвода превышает длину оставшегося участка кабеля, то возможно полное исчезновение отраженного от конца кабеля импульса. В положении курсора 1 (рисунок 24), наблюдается отраженный импульс, по своей форме указывающий на наличие параллельного отвода в кабельной линии.

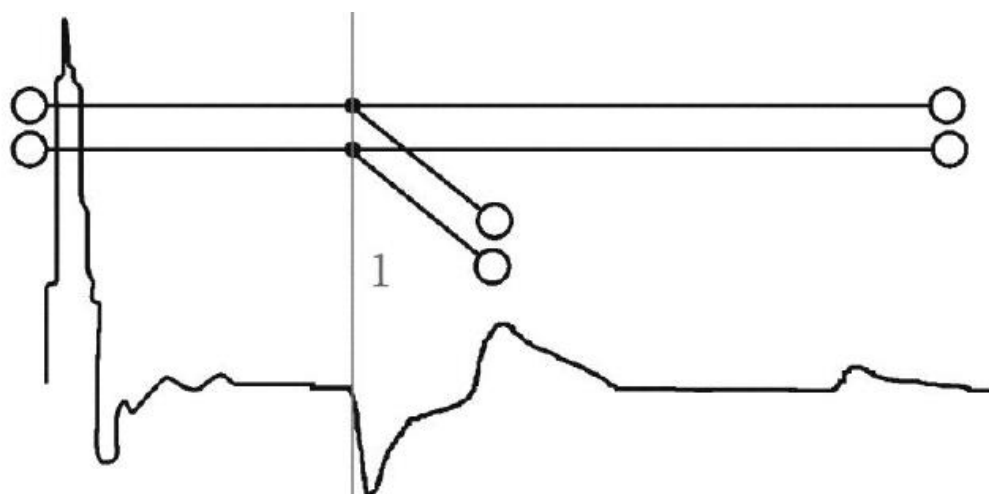


Рисунок 24 - Определение расстояния до параллельного отвода

3.8 Сталкер ВЛ – дефектопоисковый комплекс

Дефектопоисковый комплекс «Сталкер ВЛ» (рисунок 25) [13], предназначен для определения в распределительных сетях 6-10 кВ воздушных (кабельных) линий (далее ВЛ) однофазного замыкания на землю (далее ОЗЗ) и локализации места повреждения изоляции без отключения линии и позволяет проводить поиск при малых токах ОЗЗ.



Рисунок 25 - Сталкер ВЛ

Комплекс состоит из генератора ГТ-100ВЛ (далее генератор), двух блоков согласования БС-3 (далее блок согласования) и приемника ПТ-01ВЛ (далее приемник). Генератор устанавливается в РУ 6-10 кВ (распределительных устройствах) и подключается к сети 6-10 кВ с помощью блока согласования и развязывающих высоковольтных конденсаторов. Во время работы генератор передает на выбранную секцию сети РУ 6-10 кВ сигнал специальной формы и модуляции. Блок согласования коммутирует сигнал генератора и защищает генератор от коммутационных перенапряжений. С помощью приемника производится определение линии с ОЗЗ, далее осуществляется локализация места замыкания на землю.

Приемник позволяет контролировать наличие напряжения в воздушной сети 6-10 кВ по электрическому полю.

Генератор через блок согласования и развязывающие высоковольтные конденсаторы подает на секцию шин РУ 6-10 кВ поисковый сигнал. Переменное магнитное поле от отходящих линий регистрируется магнитной антенной приемника (рисунок 26), подвергается аналого-цифровому преобразованию и фильтрации. После применения запатентованного алгоритма обработки сигналов результат выводится на цифровой индикатор, по показаниям которого выявляется поврежденная линия, а затем и место ОЗЗ. Встроенный датчик электрического поля позволяет контролировать наличие напряжения в ВЛ.

- 1 – Гнездо для подключения блока питания (центральный штырь – «минус»).
- 2 – Передняя панель.
- 3 – Батарейный отсек (с обратной стороны).



Рисунок 26 - Внешний вид приемника

Генератор устанавливается на заземленную вертикальную металлическую поверхность, например дверь шкафа релейной защиты СР 6-10 кВ. Заземляющий болт генератора соединяется с контуром заземления медным проводом сечением не менее 2 мм. Установка генератора производится с помощью четырех винтов согласно разметке.

Блок согласования и развязывающие высоковольтные конденсаторы располагаются в ячейке РУ 6-10 кВ 1 и 2 секции шин, например на выкатной тележке ячейки трансформатора.

Крепление конденсатора осуществляется только за его корпус через резиновые прокладки с помощью двух хомутов из комплекта поставки на расстоянии 5-10 мм от края корпуса.

3.8.1 Методика поиска места повреждения прибором Сталкер ВЛ

Приемник необходимо располагать в перпендикулярной ВЛ плоскости. Направление на магнитную ось ВЛ контролируется по линейному индикатору, на котором должно гореть два центральных сегмента. Отклонение приемника от оси приведет к увеличению числа горящих сегментов линейного индикатора в направлении к ВЛ. Число сегментов тем больше, чем больше отклонение от ВЛ. Уровень сигнала в ВЛ отображается на цифровом индикаторе. Двигаясь вдоль ВЛ, имеющей замыкание на землю и периодически фиксировать показание приемника. В местах разветвлений ВЛ большее показание приемника указывает направление дальнейшего поиска. Фиксировать показание при этом следует на расстоянии не менее 10 метров от места разветвления. За местом замыкания вследствие исчезновения тока замыкания на землю, показание приемника значительно уменьшится (рисунок 27).

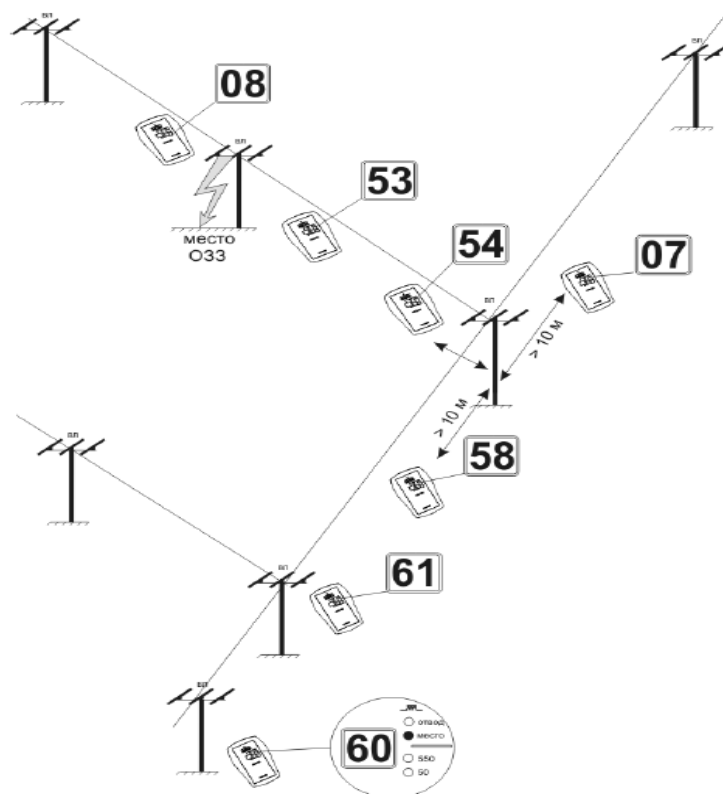


Рисунок 27 - Схема поиска места повреждения

Резкое падение уровня сигнала также может быть связано с отключением линии или устранением, самоустранением ОЗЗ. Для проверки отключения ВЛ от сети приемник используется в пассивном режиме «50 Гц» и режим «Контроль поля». Для проверки устранения замыкания следует вернуться назад и удостовериться, что сигнал в предыдущей точке сохранился на прежнем уровне.

При проведении поиска следует учитывать, что регистрируемые приемником электромагнитные волны являются суммой волн, созданных всеми проводниками с током, находящимися поблизости. Это могут быть соседние ВЛ, кабели, а также трубопроводы с наведенным или возвратным током замыкания на землю. Определенное при этом по линейной шкале направление на ВЛ может значительно отличаться от визуально наблюдаемого, а уровень сигнала на цифровом индикаторе у поверхности земли больше, чем на большем расстоянии над ее поверхностью при сохранении ориентации приемника относительно ВЛ. Смещаясь в стороны от ВЛ найти место, где влияние подземной коммуникации меньше (рисунок 28).

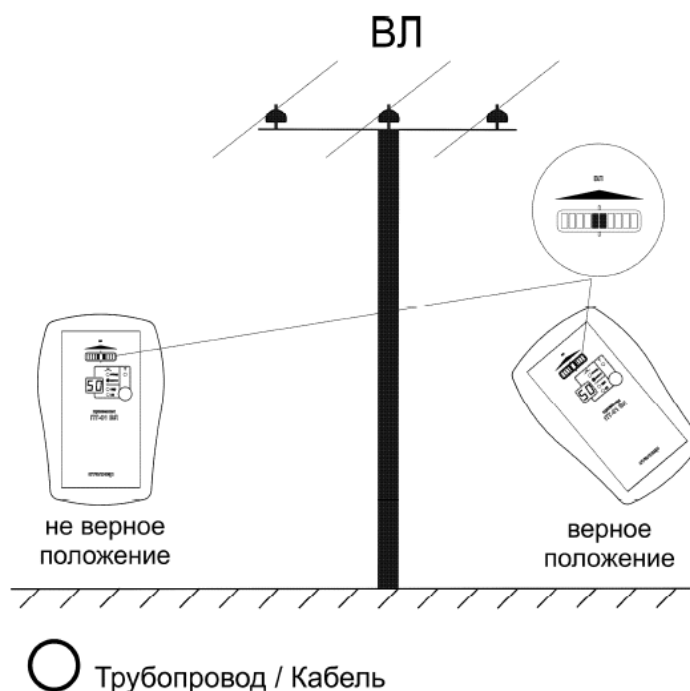


Рисунок 28 - Схема расположения приемника.

3.8.2 Пассивный поиск без применения генератора

Поиск места замыкания возможен без применения генератора, по уровню высших гармоник, протекающего тока нулевой последовательности. Данный метод пригоден в случаях, когда уровень тока однофазного замыкания на землю значительный, сеть на подстанции не имеет разветвленной структуры или предварительно известен поврежденный фидер.

3.9 Филин 6 электронно-оптический дефектоскоп

Электронно-оптический дефектоскоп «Филин-6» (рисунок 29) [13], предназначен для дистанционного контроля высоковольтного энергетического оборудования, находящегося под напряжением. В основе метода диагностики лежит определение характеристик коронных КР и поверхностно-частичных разрядов ПЧР, а также их зависимостей от величины напряжения и степени загрязнения изоляции.



Рисунок 29 - Электронно-оптический дефектоскоп Филин 6

3.9.1 Принцип работы Филин 6

Перед входным объективом устанавливается светофильтр СФ с полосой пропускания в коротковолновой части оптического спектра, характерной для энергетического максимума излучения разрядных процессов. Благодаря использованию светофильтров снижается интенсивность фоновых бликов на наблюдаемых объектах, а также повышается контраст изображения ПЧР на экране усилителя яркости. Дополнительное ослабление бликов, обусловленных действием посторонних источников света (луна, осветительные приборы), может достигаться за счет импульсного режима питания дефектоскопа. Импульсное питание ФК – МКП с частотой, близкой к 50 Гц, соответствующей частоте появления ПЧР на высоковольтном оборудовании, и длительностью импульсов примерно 2 мс. Определяемой временем существования ПЧР в полупериоде напряжения, позволяет ослабить фоновые засветки и блики. Кроме того, на экране усилителя яркости будут наблюдаться пульсации свечения ПЧР в соответствии с биениями (разностью) частоты сети и частоты открывания электронно-оптического преобразователя. По этим пульсациям можно уверенно отделить свечение ПЧР от ослабленного и не пульсирующего свечения бликов. Перед входным объективом можно также устанавливать специальный диспергирующий фильтр для оценки степени загрязнения изоляции.

Высокий коэффициент усиления яркости света позволяет производить диагностику с расстояния в десятки метров, что особенно важно для профилактического контроля оборудования высоких классов напряжения и больших размеров.

Контроль производится в темное время или в сумерках при положительной температуре окружающего воздуха, желательно, при повышенной влажности воздуха.

В зависимости от расположения контролируемых объектов осмотр производится с расстояния 4-50 метров. Выбирать минимальные (исходя из

требований ПТБ, удобства размещения и влияния посторонних источников света) расстояния для обеспечения максимальной чувствительности регистрации коронных КР или поверхностно-частичных разрядов ПЧР на контролируемых объектах.

Выбрав точку осмотра, навести дефектоскоп на объект и включить питание, переведя переключатель в положение «В». Регулируя шкалу расстояний, нужно добиться резкого изображения контролируемого объекта.

При наличии на объектах бликов от естественных или искусственных источников света включить режим импульсного питания, при этом яркость бликов на объекте будет оставаться постоянной во времени, а яркость разрядов будет изменяться. Для плавного регулирования частоты питания необходимо вращать ручку, расположенную со стороны входного объектива. Также возможна регулировка длительности импульсов питания.

При фотографировании цифровым фотоаппаратом необходимо выкрутить с окуляра резиновый наглазник, вкрутить переходное кольцо в фотоаппарат, а затем в ЭОД «Филин-6». Кольцом окуляра добиться четкого изображения кольца объектива. Наблюдая экран через экран фотоаппарата подстроить резкость изображения объективом и фотографировать. При этом необходимо установить максимальную чувствительность матрицы. Фотографировать необходимо в автоматическом режиме, при этом значение выдержки устанавливается в зависимости от освещения.

Для оценки величины интенсивности свечения коронного разряда при учете тока с загрязненных или дефектных изоляционных конструкций необходимо: выключить прибор, установить на входной объектив диспергирующий фильтр, включить прибор. При этом на экране должны появиться два изображения: в синей и красно-желтой областях спектра. При сравнении интенсивности свечения разрядов необходимо включить реперный источник света, переведя ручку в соответствующее положение, при этом в левой части экрана появится клин света.

4 Предложения по сокращению времени поиска повреждений для ПС «Полярная» 110/10 кВ

Перечислив достоинства и недостатки различных видов оборудования, выберем вариант для возможной установки его на подстанции полярная. Критерием выбора будем считать действующие цены на оборудование.

Для полного понимания актуальных цен рассматриваемого оборудования на 2023 год, воспользуемся интернет-ресурсом, а в частности сайты специализированных интернет-магазинов [9], [12], [13], экспертов и лидеров рынка измерительного и испытательного оборудования, в которых можно произвести заказ необходимого электрооборудования с доставкой. Более подробно рассмотрим актуальные цены рассматриваемого оборудования на 2023 год, и представим в (таблице 4).

Таблица 4 – Цены оборудования

Наименование оборудования	Цена руб.
ИКЗ-В54Л-УЗ	47366
ДСИ-КЛ	Цена по заказу
ПЛК110	58380
Вектор	62800
Мир Air	882000
Квант	14580
РИ-303ВМ «СТРИЖ»	71771
Сталкер ВЛ	146970
Филин 6	1350000

Все оборудование представленное в таблице 4, несомненно имеет достоинства и недостатки, но каждое из них отвечает современным стандартам, и у каждого есть свои преимущества, ведь это оборудование при его правильном использовании способно в той или иной степени облегчить работу оперативно выездной бригаде, что в свою очередь повлияет на все остальные показатели, в лучшую сторону. При необходимости можно приобрести и использовать сразу несколько разных моделей приборов, в зависимости от их потребности, так как представленное оборудование в таблице 4, способно выполнять поставленные задачи при технологическом нарушении в электроэнергетической системе. Все оборудование, представленное в таблице 4, находится в разных ценовых диапазонах, что говорит нам о сложности исполнения прибора, его современном конструктиве и принципе работы.

Рассмотрев представленное оборудование, можно сказать, что ИКЗ-В54Л-УЗ, ДСИ-КЛ, ПЛК110, представляют собой конструктив исполнения, который требует установку в конкретное место, для реализации той или иной задачи, в частности ИКЗ-В54Л-УЗ, для работы необходимо устанавливать и закреплять на воздушных линиях, ДСИ-КЛ нужно устанавливать на жилы кабельных линий, подключенных к рубильникам в трансформаторной подстанции, для ПЛК110 необходимо выделенное место в трансформаторной подстанции для его установки. Но вот что касается следующего рассматриваемого оборудования как Вектор, Мир Air, Квант, РИ-303ВМ «СТРИЖ», Сталкер ВЛ и Филин 6, то это оборудование по сравнению с перечисленным выше, требует постоянного переноса для подключения к проверяемой линии и не имеет постоянной рабочей точки установки.

Рассмотрев характер использования представленного оборудования и статистику происходящих технологических нарушений в электроэнергетической сети подключенной к яч.18 ПС «Полярная» 110/10 кВ, можно сделать вывод, что самое оптимальное оборудование из представленного, которое сможет удовлетворить, упростить и сократить время поиска для локализации участка, на котором произошло технологическое нарушения, является ИКЗ-В54Л-УЗ. Простота, легкость монтажа и использования ИКЗ-В54Л-УЗ по сравнению с другим оборудованием говорит само за себя, индикаторы необходимо

установить и настроить один раз, чего достаточно для получения нужной информации диспетчеру, для определения нужного участка линии, на котором произошло технологическое нарушение. Что касается остального рассматриваемого оборудования, можно сказать следующее, что присутствует постоянная необходимость переносить прибор для его подключения к линии для дальнейшего испытания и определения повреждения, что значительно увеличивает время поиска участка линии на котором произошло технологическое нарушение, по сравнению с установленными на линии индикаторами короткого замыкания, которые мгновенно передают информацию в диспетчерский пункт проанализировав которую можно сразу определить участок линии на котором произошло технологическое нарушение.

На основании данных представленных в таблице 4, можно сделать вывод, что большинство цен на оборудование удовлетворительны, и не имеют критического порога для приобретения такой крупной организации как МУП «АЭС» - Абаканские электрические сети, приобретение необходимого оборудования из списка перечисленного в таблице 4, приведет к сокращению времени поиска поврежденного участка электроэнергетической сети, его локализации и максимально быстрого восстановления подачи электроэнергии в жилые дома и предприятия подключенных к участку сети на которой произошло технологическое нарушение.

5 Применение комплекта индикаторов короткого замыкания ИКЗ-В54Л-УЗ

5.1 Выбор числа и мест установки

В настоящее время на электротехническом рынке имеется большое количество индикаторов короткого замыкания [13]. Чтобы выбрать оптимальный вариант необходимо задаться критериями для данных датчиков. Как и в любых элементах электроэнергетической системы, наиболее оптимальными будут датчики, обладающие высокой надежностью и относительно невысокой ценой.

Предложения в качестве мероприятия по повышению надежности электрических сетей на Абаканском участке Абаканских электрических сетей МУП «АЭС» в данной магистерской диссертации предлагается использование комплекта индикаторов короткого замыкания ИКЗ-В54Л-УЗ (6-35 кВ) в качестве устройств автоматической сигнализации.

Применение комплекта индикаторов короткого замыкания позволит сразу определить поврежденный участок воздушной линии. Особенное значение в работе данные датчики будут представлять для потребителей третьей категории электроснабжения. При отключении единственной питающей линии в цепочке однотрансформаторных подстанций, первой задачей является именно определение поврежденного участка воздушной линии, что может быть быстро достигнуто с использованием комплекта индикаторов короткого замыкания.

Соответственно, ускоряются аварийно-восстановительные работы и тем самым убыстряется подача электроснабжения потребителей. Увеличение данных показателей повышает надежность электроснабжения.

Рассмотрим пример структурной схемы электроснабжения для одной цепочки подстанций.

ПС 110/10кВ «Полярная» питает электрической энергией цепочку подстанций. Распределение происходит по стороне 10 кВ, где трансформаторные подстанции и лишены защиты. При возникновении короткого замыкания в цепочке отработает защита на ПС 110/10 кВ «Полярная» и отключит ячейку. В результате чего электроснабжения лишатся все подстанции, находящиеся в цепочке. Далее производится отыскание поврежденного участка, для чего отключаются коммутационные аппараты по стороне 10 кВ, и методом деления линии и прожига линии в разные стороны прибором УПК сокращается область отыскания. Как только поврежденный участок найден, он локализуется и ограничивается, для дальнейшего, более точного определения места повреждения, с целью его ремонта.

Делается это с целью повышения скорости восстановления электроснабжения. Существенная часть времени тратится как раз на обнаружение поврежденного участка, так как это требует перемещения оперативно-выездной бригады практически на каждую подстанцию в цепочке.

Данный порядок действий может быть значительно ускорен если место повреждения уже будет известно. ИКЗ-В54Л-УЗ, изображенные на рисунке 30, устанавливаются в начале каждого участка воздушной линии. Работа индикаторов основана на фиксации факта повреждения контролируемой линии. Электромагнитное поле тока в линии воспринимается индукционными датчиками тока. Напряжение линии воспринимается емкостным датчиком электрического поля. Индикаторы ИКЗ-В54Л контролируют токи и напряжения в конкретном проводе. По мгновенным значениям тока и напряжения с датчиков вычисляют значение амплитуды тока и напряжения, сравнивают полученные значения со значением уставок, и затем все эти характеристики аккумулируются в индикаторе ИКЗ-В54Л, в случае превышения уставок индикатор определяет тип аварии на основе полученных данных и в зависимости от настройки использования может осуществить СМС-оповещение с указанием их GPS-координат или передать информацию на сервер сбора и обработки данных, включает соответствующую индикацию аварийной ситуации.

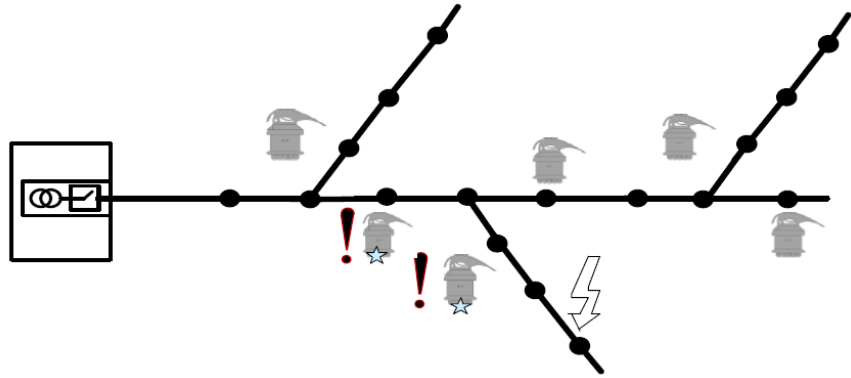


Рисунок 30 - Структурная схема установки комплектов ИКЗ-В54Л

5.2 Экономическая эффективность внедрения ИКЗ-В54Л

Проанализируем получаемый экономический эффект от внедрения ИКЗ-В54Л, примененных на ПС 110/10 кВ «Полярная». Применяемых для г.Абакан, яч.18 (рисунок 31), (рисунок 32).

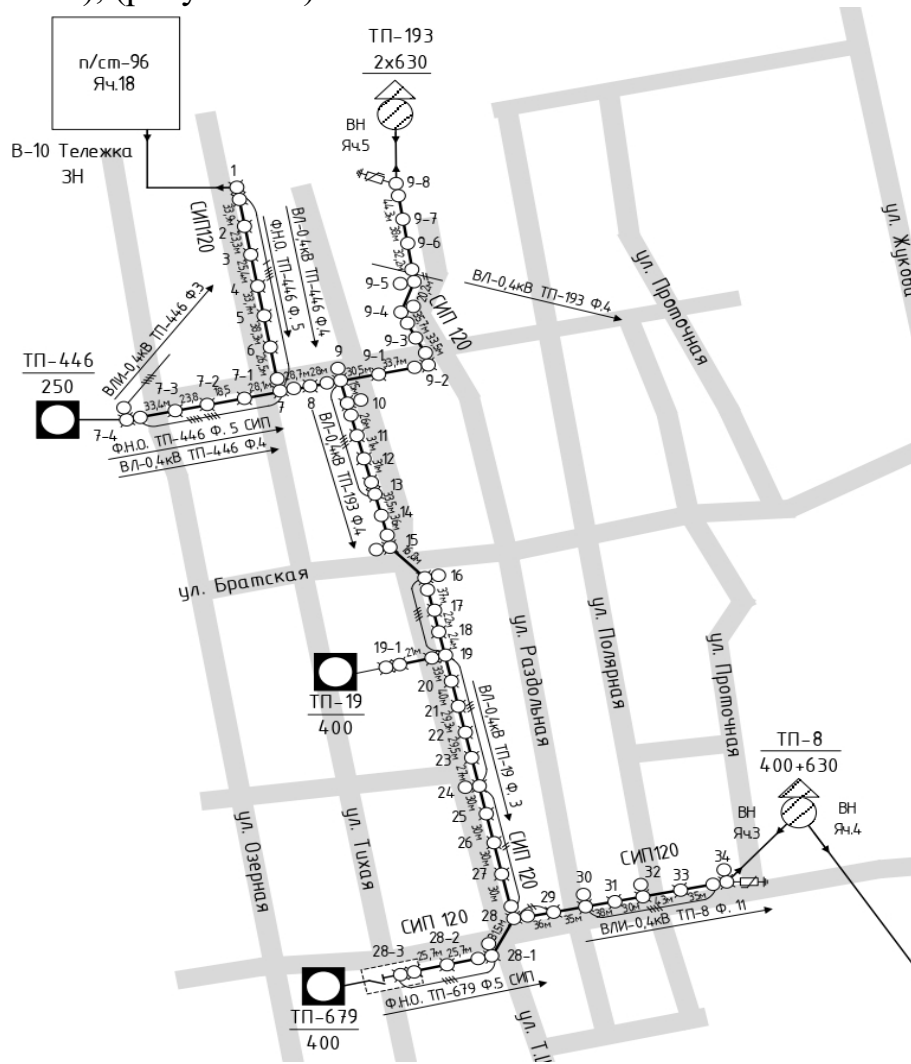


Рисунок 31 – Схема электрической сети ПС «Полярная» 110/10 кВ яч.18

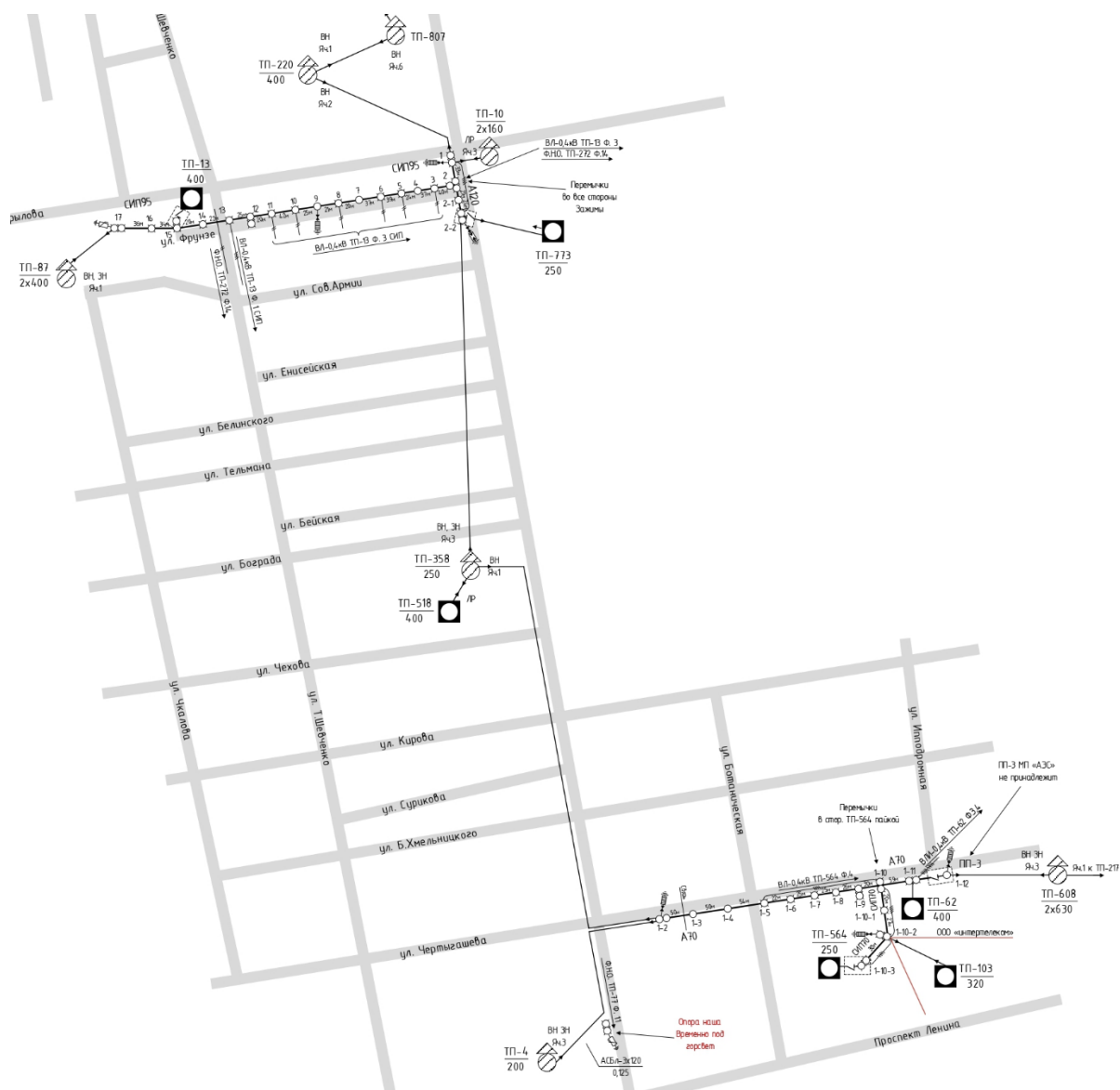


Рисунок 32 - Схема электрической сети ПС «Полярная» 110/10 кВ яч.18

Участок электрической сети расположен в частном секторе общей протяженностью, 2,9 км в том числе протяженность ВЛ-10 кВ составляет 1,9 км. Суммарная мощность трансформаторных подстанций подключенных к электроэнергетической системе ПС «Полярная» 110/10 кВ яч.18 составляет 7330 кВА.

Для удобства рассмотрения показателей эффективности до внедрения ИКЗ и расчета срока окупаемости капитальных вложений, на основании данных отображенных в таблице 1, посчитаем среднее время устранения одного аварийного отключения и средний недоотпуск МВт*ч в рассматриваемом периоде с 2018 г по 2021 г и отобразим полученные значения в таблице 5. Для получения среднегодовых значений, рассмотрим и занесем в таблицу общее количество отключений за рассматриваемый период, в нашем случае по два отключения в 2018 г, 2020 г, 2021 г, и три отключения в 2019 году, и общее время устранения в год. Далее, для получения среднего времени устранения одного отключения в год, так как в год у нас получается два отключения, возьмем

полученное общее время устранения в год и разделим пополам, полученные значение отобразим в таблице 5. Тем же самым способом, найдем средний недоотпуск МВт*ч и отобразим в таблице 5.

Таблица 5 - Продолжительность отключений до внедрения ИКЗ-В54Л

Год	Количество отключений	Время устранения, ч.ч. мин.	Время устранения одного отключения	Среднее время устранения одного отключения	Средний недоотпуск МВт*ч	Недоотпуск МВт*ч
2018	2	4ч 07мин	2ч 3,5мин	2ч 31,5мин	3,333	5,133
2019	3	7ч 03мин	3ч 51,5мин	2ч 31,5мин	3,333	5,240
2020	2	4ч 12мин	2ч 6мин	2ч 31,5мин	3,333	1,770
2021	2	3ч 32мин	1ч 46мин	2ч 31,5мин	3,333	1,190
общее	9	18ч 54мин	9ч 27мин	9ч 27мин	13,333	13,333

Для эффективного поиска места повреждения на рассматриваемом участке сети необходимо установить четыре комплекта индикаторов короткого замыкания. Установленные индикаторы позволят выявлять область повреждения на отпайке или магистральной ВЛ. Соответственно это уменьшит время отыскания повреждения, и соответственно, недоотпуск электроэнергии. В таблице 6 отобразим показатели до установки ИКЗ и после установки индикаторов короткого замыкания отслеживающие замыкания на отпаечных ВЛ и на магистральной ВЛ. Таблица 6 в полной мере отображает эффективность внедрения ИКЗ так как бригаде ОВБ не придется объезжать весь участок воздушной линии в поиске участка линии на котором произошло повреждение, а сразу прибыть к нужному участку линии и принять действия.

Таблица 6 - Показатели эффективности внедрения ИКЗ-В54Л на ВЛ

Показатель	До установки ИКЗ	После установки ИКЗ	
		Замыкание на отпаечной ВЛ	Замыкание на магистральной ВЛ
Объезд и осмотр ВЛ,км	1,923	0,445	1,478
Время отыскания	2ч 31,5м	1ч 21,5м	1ч 10м
Недоотпуск э/э, МВт*ч	3,333	1,133	1,200
Затраты на отыскание места повреждения, руб.год.	1556,58	950	1075

В рассматриваемой (таблице 6) отображены значение до установки ИКЗ и после установки ИКЗ, рассматриваемая воздушная линия подключенная от ПС «Полярная» 110/10 кВ яч.18, на которой необходимо внедрение ИКЗ, помимо магистральной воздушной линии, рассматриваемый участок линии электропередачи имеет отпаечные воздушные линии, на которых тоже

необходима установка ИКЗ, для правильного получения информации и светового отображения при технологическом нарушении. Также рассмотрены цифровые значения отображающие расстояние объезда и осмотра ВЛ, время потраченное на поиск поврежденного участка линии, недоотпуск электроэнергии при технологическом нарушении рассматриваемой электроэнергетической системы и затраты на отыскание участка линии электропередачи на котором произошло технологическое нарушение, все эти показатели отображены в нескольких вариациях, это до установки ИКЗ и после внедрения оборудования. В рассматриваемой (таблице 6) можно четко увидеть, что при внедрении ИКЗ на определенных участка электроэнергетической системы, при технологическом нарушении на одном из участков линии на котором установлены индикаторы ИКЗ, время поиска, затрат и локализация участка линии электропередачи на котором произошло технологическое нарушение сокращается в два раза, это говорит нам о том, что эффект от внедрения индикаторов короткого замыкания ИКЗ-В54Л присутствует.

5.3 Срок окупаемости вложений

Окупаемость капитальных вложений - один из показателей, характеризующий период, в течение которого возместятся дополнительные капитальные вложения за счет экономии на себестоимости продукции, или отношение капитальных вложений к экономическому эффекту, получаемому благодаря этим вложениям. Определим срок окупаемости создания системы оповещения повреждения линии электропередачи для участка воздушной линии, питающейся от ПС «Полярная» 110/10 кВ, яч.18 (рисунок 31).

Срок окупаемости вложений определяется по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta Y} \quad (5.1)$$

где K – единовременные капитальные вложения на внедрение новой системы защиты линий, руб.;

ΔY – годовая прибыль за продажу кВт*ч.

Расчет капитальных затрат на внедрение новой системы оповещения (сигнализации) повреждения линии электропередачи для участка воздушной линии выполним в форме сметы в ценах 2023 года таблица 8.

$$\Delta Y = T_r * Y_0 * P_p \quad (5.2)$$

где Y_0 – средняя стоимость 1 кВт*ч за передачу электроэнергии, 1,6 руб./кВт*ч;

P_p – среднегодовая мощность недоотпуска, 3333 кВт;

T_r – среднее время аварийных перерывов за год, 5 ч.

Подставив найденные значения в формулу (5.2), получим:

$$\Delta Y = 5 * 1,6 * 3333 = 26664 \text{ руб.}$$

Таблица 7 – Затраты на внедрение ИКЗ

Оборудование	Кол-во, шт.	Стоимость оборудования, руб.	Стоимость установки и наладки, руб.	Капитальные затраты, руб.
ИКЗ-В54Л	4	47366,40	1300,55	48666,95
Сотовый телефон	1	12250,50	-	12250,50
Программное обеспечение	1	4260,88	1157,30	5418,18
Итого:				66335,63

Определим капитальные затраты:

$$K = 48666,95 + 12250,50 + 5418,18 = 66335,63 \text{ рублей}$$

Тогда по формуле (5.1) получаем:

$$T_{\text{ок}} = \frac{66335,63}{26664} = 2,5 \text{ года} \quad (5.3)$$

В энергетике проект считается жизнеспособным, если его время окупаемости меньше 8 лет.

6 Предложения по замене защит на микропроцессорные

Основной защитой электроэнергетических систем, при технологическом нарушении, подключенных к ячейкам ПС «Полярная» 110/10 кВ, является релейная защита, обеспечивающая мгновенное выявление повреждений или отклонений от штатного режима работы и незамедлительной изоляции поврежденных компонентов от сети. Так как индикаторы короткого замыкания являются вспомогательным оборудованием для определения участка линии электропередачи, на котором произошло технологическое нарушение, то целесообразно рассмотреть и релейную защиту установленную в ячейках ПС «Полярная» 110/10 кВ, с целью определения ее типа и марки, и на основании анализа технологических нарушений, выбрать правильную конфигурацию элементов контроля и коммутации релейной защиты и автоматики систем энергоснабжения.

На основании данных, представленных в таблице 1, можно увидеть, что технологические нарушения в электроэнергетической системе в

рассматриваемом периоде происходят на всех линиях электропередач, подключенных к ячейкам ПС «Полярная» 110/10 кВ. При анализе электроэнергетической системы ее состава и характере технологических нарушений, а также мест расположения рассматриваемых линий электропередач, протяженности, можно сказать следующее, что при технологическом нарушении на любой из этих линий, диспетчеру нет необходимости отправлять оперативно выездную бригаду для поиска места повреждения и локализации поврежденного участка электроэнергетической системы. Для того чтобы повысить защиту рассматриваемой электроэнергетической системы необходим анализ релейной защиты, установленной в ячейках ПС «Полярная» 110/10 кВ.

На сегодняшний день, рассматриваемая ПС «Полярная» 110/10 кВ, оснащена микропроцессорными устройствами «Сириус-2-Л» в количестве 24 штук, отвечающих за защиту воздушных и кабельных линий, а также трансформаторов. «Сириус-2-В» в количестве двух штук и «Сириус-2-С» в количестве 1 штуки, предназначены для защиты автоматики, управления и сигнализации вводного выключателя, отходящей линии. Вышеперечисленные устройства, установленные в ПС «Полярная» 110/10 кВ, это современное оборудование, выполняющее функции релейной защиты линий электропередач с возможностью поиска и определения расстояния до повреждения, обширным набором характеристик и возможностей, отвечающие современным требованиям и запросам.

Рассмотрим и выберем самую современную модель микропроцессорного блока, отвечающую всем необходимым характеристикам. В качестве производителей, а также поставщиков наиболее распространенных блоков микропроцессорной релейной защиты, проанализируем такие компании как:

- Механотроника;
- АО «ЧЭАЗ»;
- ООО НПП «ЭКРА»;
- ЗАО «РИДИУС Автоматика»;

Для полного понимания возможностей продукции, выпускаемой этими организациями, более детально рассмотрим необходимый нам функционал, а в частности, который необходим для определения расстояния до повреждения и других возможностей. Сравнение функционала микропроцессорных блоков РЗА представим в таблице 8.

Таблица 8 – Сравнение функционала микропроцессорных блоков защиты

Наименование функции защиты	ЭКРА БЭ2502А03ХХ	БМРЗ	Сириус-2	БЭМП РУ
Определение расстояния до повреждения, км.	v	v	v	v
Определение вида повреждения	v	v	v	v

Окончание таблицы 8

Наименование функции защиты	ЭКРА БЭ2502А03ХХ	БМРЗ	Сириус-2	БЭМП РУ
Фиксация времени и даты возникновения аварии	v	v	v	v
Возможность перерасчета расстояния до места КЗ	-	v	v	-
Возможность работы в системе Smart Grid	v	v	v	v

На основании информации, изложенной в (таблице 8), можно сделать вывод, что все микропроцессорные блоки релейной защиты имеют возможность определения расстояния до повреждения. Так как в ячейках ПС «Полярная» 110/10 кВ установлены микропроцессорные блоки релейной защиты «Сириус-2», и при сравнении необходимого функционала с другими микропроцессорными блоками мы видим в (таблице 8), что установленные микропроцессорные блоки в ПС «Полярная» 110/10 кВ имеют те же необходимые функции что и в рассматриваемом оборудовании, то можно сделать вывод, что выполнение модернизации релейной защиты в ПС «Полярная» 110/10 кВ, является не целесообразным мероприятием, и замена существующих микропроцессорных блоков, на схожие микропроцессорные блоки, не требуется.

Микропроцессорные блоки РЗА на современной элементной базе серии БЭМП РУ предназначены для выполнения всех необходимых функций релейной защиты и автоматики, управления, сигнализации энергетических объектов с классом напряжения от 0,4 до 750 кВ.

Микропроцессорные блоки РЗА серии БЭМП соответствуют требованиям технических условий БКЖИ.656316 ТУ, ГОСТ Р51321.1, в результате выполнения которых обеспечивается соблюдение технического регламента Таможенного союза «О безопасности низковольтного оборудования» (ТР ТС 004/2011) и «Электромагнитная совместимость технических средств» (ТР ТС 020/2011), а при поставке на экспорт также требованиям РД 16 01.007.

Устройства БЭМП РУ применяются на подстанциях с переменных, выпрямленных переменным, постоянно оперативным током в качестве основного устройства РЗА присоединений КРУ электрических станций и распределительных подстанций сетевых предприятий, промышленных предприятий.

Применение современной микропроцессорной и микроэлектронной элементной базы, а также максимальная оптимизация программно-аппаратной части позволила обеспечить:

- низкую стоимость;
- весь ряд основных функций РЗА и управления, требуемых ПУЭ и ПТЭ;
- дополнительные функции, обеспечивающих удобное обслуживание, регистрацию и последующий анализ аварийных процессов;
- высокая точность и стабильность характеристик;

- непрерывная самодиагностика аппаратного и программного обеспечения устройства, обеспечивающая высокую надежность и готовность;
- применяемость в зависимости от задач на объектах от 0,4 до 750 кВ.

К основным функциям микропроцессорного блока БЭМП относятся:

- релейная защита;
- противоаварийная автоматика;
- электроавтоматика;
- управление выключателем;
- контроль положения и исправности цепей управления выключателя;
- измерение электрических параметров;
- сигнализация;
- измерение действующих значений токов и напряжений;
- осциллографирование и запись в энергонезависимую память;
- автоматическая регистрация параметров аварийных событий;
- расчет ресурса выключателя;
- определение места повреждения;
- связь с АСУ или ПК по последовательному каналу.

Выбрав поставщика блоков микропроцессорной релейной защиты, проведем экономический расчет.

Необходимо определить общую стоимость старой релейной защиты для различных электроприемников, так как для защиты каждого из них используются различные схемы защиты, что подразумевает использование разных реле. Потом оценить экономический эффект от внедрения микропроцессорной релейной защиты.

При расчете стоимости старой системы релейной защиты и автоматики будет учитываться оборудование установленное в ячейках ПС «Полярная» 110/10 кВ, используемых в схеме защиты и отобразим в таблице 9.

Таблица 9 – Стоимость установленного оборудования

Оборудование	Стоимость за шт.	Количество	Общая стоимость
ОПУ Защиты 1Т, 2Т			
Реле тока РТ-40	1928 руб.	12 шт.	23136 руб.
РП-252	5560 руб.	8 шт.	44480 руб.
Указательное реле РУ-21	1183 руб.	20 шт.	23660 руб.
Дифф. Токовое реле ДЗТ-11	10047 руб.	4 шт.	40188 руб.
Общее:			131464 руб.
ЗРУ 10 кВ			
Сириус 2Л	71325 руб.	24 шт.	1711800 руб.
Сириус 2В	77685 руб.	2 шт.	155370 руб.
Сириус 2С	71325 руб.	1 шт.	71325 руб.
РН-54/160	3696 руб.	2 шт.	7392 руб.
РН-53/60Д	3696 руб.	1 шт.	3696 руб.
РВ-237	20569 руб.	1 шт.	20569 руб.
РЭУ-11-11	1600 руб.	64 шт.	102400 руб.
Общее:			2072552 руб.

Окончание таблицы 9

Оборудование	Стоимость за шт.	Количество	Общая стоимость
Панель АИР			
Сириус АИР	65128 руб.	1 шт.	65128 руб.
РЭУ-11-11	1600 руб.	4 шт.	6400 руб.
Общее:			71528 руб.
Общая стоимость:			2275544 руб.

Таблица 10 – Стоимость микропроцессорных блоков БЭМП

Наименование.	Стоимость.	Количество.	Общая стоимость.
БЭМП РУ-ТН	51320,87 руб.	2	102641,74 руб.
БЭМП РУ-ВВ	61096,24 руб.	4	244384,96 руб.
БЭМП РУ-СВ	51320,87 руб.	2	102641,74 руб.
БЭМП РУ-ДЗТ	61096,24 руб.	2	122192,48 руб.
БЭМП РУ-РЧЗ	50568,35 руб.	2	101136,70 руб.
БЭМП РУ-ОЛ	51320,87 руб.	27	1385663,49 руб.
Общее:			2058661,11 руб.

Для расчета амортизационных отчислений, определим амортизационную группу закупаемого оборудования. Из источника информации [49] выбранное закупаемое оборудование относится к восьмой амортизационной группе, так как гарантийный срок службы оборудования составляет 25 лет. Расчет амортизации будет проводиться линейным способом по формуле:

$$A_{\text{комп}} = \frac{E_{\text{обр}} * K}{N_{\text{мес}}} \quad (5.4)$$

где K – годовая норма амортизации;

- $E_{\text{обр}}$ – первичная стоимость имущества;

- $N_{\text{мес}}$ – количество месяцев в году.

$$K = \frac{1}{n} * 100\% \quad (5.5)$$

где n – срок эксплуатации в годах.

$$K = \frac{1}{25} * 100\% = 4\% \quad (5.6)$$

$$A_{\text{комп}} = \frac{2058661 * 4}{12 * 100} = 6862,21 \text{ руб.} \quad (5.7)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления составляют 6862,21 рублей в течении 25 лет.

Демонтаж, монтаж и наладку микропроцессорных блоков БЭМП будет производить подрядчик. Стоимость услуг зависит от того, какая из компаний выиграет тендер. Ориентировочная сумма, которую необходимо заложить в проект на демонтаж и монтаж шкафов/терминалов составит 15% от суммы проекта. Также нельзя забывать про автоматизированную систему диспетчеризации, так как данная система будет модернизирована на всей площадке, то соответственно сумма необходимая для этого будет входить в отдельный проект. Ежемесячные амортизационные отчисления составляют 6862,21 рублей.

По итогу экономического расчета видно, что модернизация системы релейной защиты ПС «Полярная» 110/10 кВ финансово не выгодна. Но если его рассматривать в перспективе на будущее, то у него есть ряд неоспоримых преимуществ. Главным преимуществом является то факт, что уже сейчас производство реле на электромеханической базе практически полностью остановлен и замена имеющейся базы электромеханических реле производится за счет складских накоплений. В дальнейшем возможно производство электромеханических реле полностью остановиться, а их стоимость сильно возрастет, при том, что уже их стоимость сравнима со стоимостью реле на микропроцессорной базе. Микропроцессорные блоки по сравнению с электромеханическими реле не имеют подвижных частей, пружинных механизмов и открытых контактных систем, что упрощает их обслуживание повышает надежность. Защиты на микропроцессорной базе имеют сравнительно низкий уровень потребления по цепям оперативного тока и измерительным цепям. Так как элементы микропроцессорного блока расположены в герметичном корпусе, который исключает попадания на элементы металлической стружки и смазочных материалов, повышается стабильность работы реле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Магистерская диссертационная работа заключалась в анализе и сравнении современных средств автоматизации поиска мест повреждений 6-10 кВ, позволяющих ускорить время поиска аварийного участка ЛЭП и сократить продолжительность аварийных отключений потребителей, подключенных к линии электропередач, которые в свою очередь запитаны от ПС 110/10 кВ «Полярная». В ходе выполнения работы были решены следующие задачи:

1. Произведен анализ аварийных отключений ячеек ПС 110/10 кВ «Полярная».
2. Рассмотрен и проанализирован алгоритм действия бригады ОВБ.
3. Произведен анализ работы оборудования, используемое бригадой ОВБ для определения места короткого замыкания.
4. Рассмотрены и проанализированы имеющиеся на сегодняшний день средства автоматизированного поиска места повреждения.
5. Проведен анализ электрических сетей часто попадающие под аварийное отключение.
6. Произведен выбор и обоснование оборудования для снижения времени поиска места повреждения.
7. Проведен анализ экономического эффекта от внедрения индикаторов короткого замыкания на ВЛ.
8. Проведен анализ срока окупаемости внедрения ИКЗ.
9. Проведено сравнение функционала микропроцессорных блоков РЗА

В работе был рассмотрен период аварийных отключений ячеек ПС 110/10 «Полярная» с 2018 по 2021 год. При рассмотрении построенных графиков аварийных отключений было выявлено что самое большое количество отключений приходится на яч.18. Были рассмотрены действия бригады ОВБ при поиске места повреждения и проанализировано оборудование, которое использовалось при поиске участка, на котором произошло короткое замыкание. Рассмотрено самое современное оборудование, которое сократит время поиска что приведет к сокращению времени отключения линии, на которой произошло аварийное отключение. Для сокращения времени отыскания повреждение и при специфическом характере повреждений, было определено что эффективно и целесообразно будет применение индикаторов короткого замыкания что позволит сократить время поиска в два раза тем самым сократив затраты на время устранения технологического нарушения.

Таким образом, основными критериями выбора индикаторов короткого замыкания в данной магистерской диссертации были надежность и технико-экономическая обоснованность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Техническое состояние сетей // Абаканские электрические сети [официальный сайт] URL: <https://мпэс.рф/service/tekhnicheskoe-sostoyanie-setey/> (дата обращения 09.09.2023).
2. Дорохин, Е.Г. Основы эксплуатации релейной защиты и автоматики. Техническое обслуживание устройств релейной защиты: практическое пособие / Е.Г. Дорохин, Т.Н. Дорохина - Краснодар: Советская Кубань, 2006. – 448 с.
3. Как индикаторы короткого замыкания (ИКЗ) помогают экономить время и деньги? // Связь комплект [сайт]. URL: <https://skomplekt.com/indikatory-toka-korotkogo-zamykaniia-ikz/> (дата обращения 08.10.2023).
4. Доронина, О.И. Оценка надежности воздушных линий электропередачи с учетом климатических факторов / О.И. Доронина, Н.Ю. Шевченко, К.Н. Бахтиаров// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9 (часть 2) – С. 226-230 [Электронный ресурс] URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7296> (дата обращения 14.10.2023)
5. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок: дата введения 15.12.2020 // КонсультантПлюс : справочная правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372952/b3ff40ccea8ae665280131c2b50f9892cb958415/ (дата обращения 17.10.2023).
6. Системы электроснабжения, источники, преобразователи и приемники электрической энергии переменного тока // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004964> (дата обращения 09.09.2023).
7. Микропроцессорные устройства релейной защиты: обзор возможностей и спорных вопросов // Школа для электрика [сайт]. URL: <https://electricalschool.info/main/elsnabg/1431-mikroprocessornye-ustrojstva.html> (дата обращения 10.09.2023).
8. Программируемые устройства // Овен оборудование для автоматизации [сайт]. URL: https://energy.owen.ru/product/sistema_telemechaniki_RTP (дата обращения 12.09.2023).
9. Телемеханизация РП и ТП-6(10) кВ на базе доступных и надежных решений ПТК «ТМИУС КП» // Журнал «ИСУП» Отраслевой научно-технический журнал [сайт]. URL: <https://isup.ru/articles/3/6817/> (дата обращения 16.09.2023).
10. ПЛК110-M02 программируемый контроллер для средних систем // Овен оборудование для автоматизации [сайт]. URL: https://owen.ru/product/plk110_m02 (дата обращения 12.09.2023).
11. Индикатор короткого замыкания ИКЗ-2М // ООО «СибТоргПрибор» [сайт]. URL: <https://kip24.ru/ikz-2m/> (дата обращения 12.09.2023).
12. ИКЗ-В54Л комплект индикаторов короткого замыкания // ЭЛЕКТРОПРИБОР эксперт рынка измерительного оборудования [сайт]. URL:

- <https://www.electronpribor.ru/catalog/221/ikz-v541.htm> (дата обращения 12.09.2023).
13. BMP3-150 // Механотроника [сайт]. URL: <https://www.mtrele.ru/shop/relejnaya-zashhita/bmrz-150/> (дата обращения 12.09.2023).
14. Блок микропроцессорной релейной защиты BMP3-152-2-БСК-01 // Магазин энергетика [сайт]. URL: <https://magazinenergetiki.ru/relejnaya-zashchita-rza/blok-mikroprocessornoj-relejnoj-zashchity-brmz-152-2-d-bsk-01> (дата обращения 12.09.2023).
15. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок // IPR SMART [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/22695> (дата обращения 16.09.2023).
16. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения / Г.Н. Ополева // Учебное пособие. – 2016. - 480 с.
17. Реестр цифровых решений // Цифровая энергетика [сайт]. URL: <https://www.digital-energy.ru/trends/registry/> (дата обращения 12.09.2023).
18. Цифровая электроэнергетика – будущее, которое наступило // Softline мы все сможем [сайт]. URL: <https://slddigital.com/article/cifrovaya-energetika-budushee-kotoroe-nastupilo/> (дата обращения 12.09.2023).
19. Шведов, Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети / Г.В. Шведов // Учебное пособие. - М.: МЭИ - 2012. – 268 с. – ISBN: 978-5-383-00743-3
20. Степанов, В.М., Борисов П.А. Методы местонахождения поврежденных участков кабельных линий напряжением 35-500кВ / В.М. Степанов, П.А. Борисов // Известия ТулГУ. Технические науки. - 2010. – Вып.3. – Ч.5. – С. 94-97.
21. Романюк, Ф.А., Тишечкин, А.А., Гурьянчик, О.А. Определение места короткого замыкания на линиях распределительных сетей в объеме функций микропроцессорных токовых защит / Ф. А. Романюк, А.А. Тишечкин, О.А. Гурьянчик // Энергетика (Изв. Высш. Учеб. Заведений и энерг. Объединений СНГ). – 2010. - №6. – С. 5-13.
22. Назаров, А.В. Современная телеметрия в теории и на практике / А.В. Назаров // Учебное пособие. СПб.: Наука и техника. - 2017. – 627 с.
23. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования / Н.В. Грунтович // Учебное пособие. М. Инфра – М. - 2015. – 271 с.
24. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: [приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 13 января 2003 г. №6 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей»]. М.: Энас. - 2018. – 280 с.
25. Таранов, М.А. Эксплуатация электрооборудования / М.А. Таранов // М. Форум. - 2016. – 176 с.

26. Тарасов, К.В. Использование индикаторов короткого замыкания в распределительных сетях 6 – 10 кВ / К.В. Тарасов // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2014. - №4 (25). С. 75-76.
27. Умная сеть электроснабжения // Научный лидер [сайт]. URL: <https://scilead.ru/article/4840-umnaya-set-elektrosnabzheniya> (дата обращения 10.11.2023).
28. Стационарные цифровые подстанции // Чебоксарский электромеханический завод [сайт]. URL: <https://www.chemz.ru/produksiya/cifrovaya-podstanciya/> (дата обращения 20.10.2023).
29. Киреева, Э.А., Цырук, С.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем / Э.А. Киреева, С.А. Цырук // Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. М. Издательский центр «Академия». - 2016. – 287 с.
30. Воропай, И.И. Тенденции и перспективы развития релейной защиты и автоматики в электроэнергетических системах России / И.И. Воропай // Релейная защита и автоматика энергосистем. – 2017. – 25 с.
31. Грунин, В.К. Силовое электрооборудование городских распределительных сетей / В.К. Грунин // Учеб. Пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ. - 2014. – 156 с.
32. Короткевич, М.А. Основы эксплуатации электрических сетей / М.А. Короткевич // Учеб. Пособие. - 1999. – 267 с.
33. Программа инновационного развития // ПАО «Россети Волга» [сайт]. URL: https://www.rossetivolga.ru/ru/o_kompanii/innovatsio/programmai/ (дата обращения 28.10.2023).
34. Smart Grid Умные Сети, Интеллектуальные сети электроснабжения // TADVISER Государство. Бизнес. Технологии [сайт]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Smart_Grid_\(Умные_Сети\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Smart_Grid_(Умные_Сети)) (дата обращения 10.11.2023).
35. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования / Н.В. Грунтович // Учебное пособие. - 2015. – 271 с.
36. Кривоногов, Н.А., Маклаков В.П., Потапов Л.А. Общая электроэнергетика / Н.А. Кривоногов, В.П. Маклаков, Л.А. Потапов // Учеб. Пособие. - 2016. – 223 с.
37. Тарасов, К.В. Использование индикаторов короткого замыкания в распределительных сетях 6 – 10 кВ / К.В. Тарасов // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2014. - №4 (25). С.75-76.
38. Короткие замыкания и выбор электрооборудования // Консультант студента [сайт]. URL: <https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785383011911.html> (дата обращения 16.11.2023).
39. Правила устройства электроустановок, все действующие разделы шестого и седьмого издания с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2016 года. Москва. КноРус. - 2016. - 487 с.

40. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 13 января 2003 г. №6 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей»]. М. Энас. - 2015. – 280 с.

41. Инновационные разработки в энергетической отрасли // Молодой ученый [сайт]. URL: <https://moluch.ru/archive/103/23799/> (дата обращения 14.11.2023).

42. Современные технологии в производстве электрооборудования // Ампероф [сайт]. URL: <https://amperof.ru/elektropribory/sovremennye-tekhnologii-v-proizvodstve-elektrooborudovaniya.html> (дата обращения 15.11.2023).

43. ПЛК в автоматике: что это и как выбрать контроллер // Equipnet.ru [сайт]. URL: https://www.equipnet.ru/articles/tech/tech_54826.html (дата обращения 29.10.2023).

44. Горюнов, А.Г. Телеконтроль и телеуправление // А.Г. Горюнов // Учебное пособие. - 2010. – 130 с.

45. Арнишевский, Я.Л. Высоковольтное оборудование для активного поиска замыкания на землю в сетях ВЛ 10 кВ / Я.Л. Арнишевский // Перспективы развития электроэнергетики и высоковольтного электротехнического оборудования. XXII Международная научно-техническая и практическая конференция. - 2015. – 15 с.

46. Цифровая подстанция. Эффективные решения // Журнал «ИСУП» отраслевой научно-технический журнал [сайт]. URL: <https://isup.ru/articles/72/13855/> (дата обращения 15.10.2023).

47. Амортизационные группы основных средств // Главная книга готовые решения для бухгалтера [сайт]. URL: <https://glavkniga.ru/situations/k501767> (дата обращения 21.11.2023).

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

Политехнический институт
институт

Электроэнергетики
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

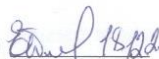



 В. И. Пантелеев
инициалы, фамилия

« 19 » 12 2023 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
Анализ средств автоматизации поиска мест повреждений
в сетях напряжением 6-10 кВ.

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
код и наименование направления

13.04.02.09 «Автоматизация энергетических систем»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	 подпись, дата	18.12.23 к.т.н., доцент должность, ученая степень	<u>Е. В. Платонова</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата	18.12.23 начальник ПТО МУП АЭС должность, ученая степень	<u>П. С. Пилецкий</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата	18.12.23 Доц. Каф ЭМиАТ, к.т.н. должность, ученая степень	<u>О. С. Арапаева</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата	18.12.23 Доц. Каф ЭМиАТ, к.т.н. должность, ученая степень	<u>А. В. Коловский</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2023