

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  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Количественные характеристики основных показателей надежности  
электрических сетей ООО «МРЭС» РЭС-1

тема

Руководитель	_____	<u>доцент каф. ЭЭ, к.э.н.</u>	<u>Н.В.Дулесова</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Е.В.Логинова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>А.В.Коловский</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

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  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

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

Студенту \_\_\_\_\_ Логиновой Евгении Владимировне \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество студента)

Группа ЗХЭН-12-01 (3-12) Направление \_\_\_\_\_ 13.03.02 \_\_\_\_\_

(код)

\_\_\_\_\_ «Электроэнергетика и электротехника» \_\_\_\_\_

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: Количественные характеристики основных показателей надежности электрических сетей ООО «МРЭС» РЭС-1

Утверждена приказом по университету № 145 от 28.02.2017 г. \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР: Н.В.Дулесова, доцент каф. «Электроэнергетика», к.э.н. \_\_\_\_\_

(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР: Однолинейная схема электрических соединений ПС №11 «Искож 110/10», и питающих подстанций потребителей фидеров 10 кВ, данные из журнала учета данных по всем прекращением передачи электрической энергии, произошедших на объектах РЭС-1 за 2011-2016 г.г

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

Введение.

1 Теоретическая часть.

- 1.1 Сущность проблемы надежности электрических сетей.
- 1.2 Методические аспекты и подходы к оценке надежности электрических сетей.
- 1.3 Понятие и классификация отказов.

2 Аналитическая часть.

- 2.1 Общая характеристика ООО «МРЭС».
- 2.2 Характеристика районных распределительных сетей 10-110 кВ.
- 2.3 Исходные данные для расчета показателей надежности электроснабжения потребителей.
- 2.4 Расчет количества внезапных отключений потребителей.
- 2.5 Расчет продолжительности внезапных отключений потребителей.
- 2.6 Диаграммы результатов расчета количества внезапных отключений и среднего времени восстановления элементов сети.

3 Мероприятия по повышению надежности электроснабжения потребителей РЭС-1.

Заключение.

Перечень обязательных листов графической части:

1. Однолинейная схема электрических соединений ПС №11 «Искож 110/10 кВ».
1. Диаграммы результатов расчета количества внезапных отключений.
2. Диаграммы результатов расчета среднего времени восстановления.
3. Мероприятия по повышению надежности электроснабжения потребителей РЭС-1.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_

(подпись)

Н.В.Дулесова \_\_\_\_\_

(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

(подпись)

Е.В.Логинова \_\_\_\_\_

(инициалы и фамилия)

«  » \_\_\_\_\_ 2017г

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Количественные характеристики основных показателей надежности электрических сетей ООО «МРЭС» РЭС-1» содержит 66 страниц текстового документа, 20 рисунков, 47 таблиц, 26 использованных источников, 4 листа графического материала.

**НАДЕЖНОСТЬ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ, ИСТОЧНИК, ПОТРЕБИТЕЛЬ ОТКАЗ, ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ.**

Объект исследований – районные распределительные электрические сети, питающие потребителей РЭС-1.

Предмет исследований – способы анализа и определения количественных показателей надежности электрических сетей.

Методы исследования – статистические методы оценки надежности по данным эксплуатации районных распределительных сетей.

Научная новизна – использование статистических методов оценки основных показателей надежности с применением исходной информации по материалам эксплуатации электрических сетей.

Цель работы заключается в анализе основных показателей надежности электрических сетей и последующем определении их количественных характеристик для выработки рекомендаций по обеспечению требуемого уровня надежности.

Значимость работы – обусловлена тем, что полученные результаты нашли отражение в методических разработках ООО «МРЭС» и в настоящее время включены в инструктивные материалы.

Область применения – работа может быть предложена электросетевым организациям как методика оценки и разработки мероприятий по обеспечению надежности.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- выделить методические аспекты исследования надежности электрической сети;
- выполнить анализ состояния надежности электрической сети;
- определить параметры основных показателей надежности электрической сети;
- предложить мероприятия по повышению надежности электрических сетей РЭС-1.

В течение проработки проекта были получены следующие результаты:

- представлены теоретические обоснования обеспечения высокого уровня надежности электрических сетей в процессе их эксплуатации;
- сформированы исходные данные с привязкой к структурным схемам для расчета показателей надежности электроснабжения потребителей;
- выполнены расчеты основных показателей надежности сети;
- выполнен анализ реальных и среднестатистических количественных характеристик показателей надежности;
- предложены мероприятия по повышению и обеспечению надежности районных сетей.

## ABSTRACT

The final qualifying work on the topic "Quantitative characteristics of the main indicators of reliability of electric networks of LLC" MRES "RES-1 contains 66 pages of a text document, 20 drawings, 47 tables, 26 used sources, 4 sheets of graphic material.

RELIABILITY, ELECTRICAL SUPPLY, ELECTRIC CIRCUIT, SOURCE, CONSUMER FAILURE, INDICATORS OF RELIABILITY.

The object of research is the regional distribution electric networks feeding consumers of RES-1.

The subject of research is the ways of analyzing and determining the quantitative indicators of the reliability of electrical networks.

Methods of research - statistical methods for assessing reliability based on the data of operation of district distribution networks.

Scientific novelty is the use of statistical methods for assessing the main reliability indicators with the use of the initial information on the materials of operation of electric networks.

The purpose of the work is to assess the state of electrical networks and the subsequent determination of the quantitative characteristics of the main reliability indicators to develop recommendations for ensuring the required level of reliability.

The significance of the work is due to the fact that the results obtained are reflected in the methodological developments of LLC "MRES" and are now included in the instructional materials.

Scope - the work can be offered to electric grid organizations as a methodology for assessing and developing measures to ensure reliability.

The tasks of the final qualifying work:

- highlight the methodological aspects of the reliability study of the electrical network;
- perform an analysis of the reliability of the electrical network;
- determine the parameters of the main indicators of the reliability of the electrical network;
- offer measures to improve the reliability of electrical networks of RES-1.

During the development of the project, the following results were obtained:

- theoretical grounds for ensuring a high level of reliability of electrical networks during their operation are presented;
- initial data are formed with reference to the structural schemes for calculating the indicators of reliability of power supply to consumers;
- the main reliability indicators of the network were calculated: the number of sudden outages of consumers and the duration of sudden outages of consumers;
- analyzed and proposed measures to improve and ensure the reliability of district networks.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Теоретическая часть.....	7
1.1 Сущность проблемы надежности электрических сетей.....	7
1.2 Методические аспекты и подходы к оценке надежности электрических сетей .....	9
1.3 Понятие и классификация отказов.....	11
2 Аналитическая часть.....	14
2.1 Общая характеристика ООО «МРЭС».....	14
2.2 Характеристика районных распределительных сетей 10-110 кВ.....	17
2.3 Исходные данные для расчета показателей надежности электроснабжения потребителей.....	19
2.4 Расчет количества внезапных отключений потребителей.....	21
2.5 Расчет продолжительности внезапных отключений потребителей....	32
2.6 Диаграммы результатов расчета количества внезапных отключений и среднего времени восстановления элементов сети.....	43
2.6.1 Диаграммы результатов расчета количества внезапных отключений.....	43
2.6.2 Диаграммы результатов расчета среднего времени восстановления.....	47
3 Мероприятия по повышению надежности электроснабжения потребителей РЭС-1.....	54
Заключение.....	63
Список использованных источников.....	64
Приложение А.....	66

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема надежности электроснабжения является ключевой в развитии электроэнергетики на протяжении многих лет.

От надёжности электроснабжения зависят, как показатели качества электроэнергии, непрерывность ее передачи, экономические показатели работы оборудования, так и величина ущерба от перерывов работы электрических сетей. Многие ученые рассматривали эту проблему, например, Хорольский В.Я., Водяников, Солодухина А. М. и др. Тем не менее, до настоящего времени не найден универсальный подход повышения надежности и оценки ее составляющих.

Таким образом, сложилась проблемная ситуация: несмотря на большое количество разработок и научных исследований по данной тематике, надежность электроснабжения сохраняется на низком уровне, что связано с одной стороны с экономической ситуацией, а с другой - не адаптированными для потребителей предложениями по повышению надежности.

Актуальность данной работы связана с необходимостью разработки мероприятий по повышению надежности и совершенствованию работы в области электроснабжения.

Объектом исследования являются районные распределительные электрические сети, питающие потребителей Усть-Абаканского района, находящиеся на обслуживании участка РЭС-1.

Предмет исследований – способы анализа и определения количественных показателей надежности электрических сетей.

Цель работы заключается в анализе показателей надежности электрических сетей и последующем определении их количественных характеристик для выработки рекомендаций по обеспечению требуемого уровня надежности.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- выделить методические аспекты исследования надежности электрической сети;
- выполнить анализ состояния надежности электрической сети;
- определить параметры основных показателей надежности электрической сети;
- выполнить анализ реальных и среднестатистических показателей надежности;
- представить полученные результаты в виде диаграмм;
- предложить мероприятия по повышению надежности электрических сетей РЭС-1.

В работе используются статистические методы оценки надежности по данным эксплуатации районных распределительных сетей.

Практическая значимость работы заключается в том, что она может быть предложена электросетевым организациям как методика оценки и разработки мероприятий по повышению надежности электрических сетей.

# 1 Состояние и проблемы надежности электрических сетей

## 1.1 Сущность проблемы надежности электрических сетей

Устойчивое функционирование сетевого электроэнергетического комплекса невозможно без надежной и качественной работы распределительных электрических сетей, которые являются завершающим звеном в системе обеспечения потребителей электрической энергией и находятся в непосредственном взаимодействии с конкретным потребителем.

Надежность электроснабжения потребителей является одной из характеристик эффективности электроэнергетической системы [14].

Надежность электрической сети является комплексным показателем, определяющим ее свойства длительно сохранять во времени и устойчиво воспроизводить в процессе эксплуатации свои рабочие характеристики и параметры. Надежность электрической сети обеспечивается такими свойствами как [5]:

- безотказность электрической сети – ее свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного интервала времени;

- работоспособность электрической сети – выполнение ею функций с заданными параметрами электрической энергии;

- долговечность электрической сети – сохранение ею работоспособности до предельного состояния (т.е. снижения качества передаваемой энергии, эффективности ее транспорта, снижения безопасности эксплуатации);

- управляемость электрической сети – приспособленность ее к управлению с целью поддержания в ней установившегося режима работы;

- ремонтпригодность электрической сети – приспособленность к предупреждению и обнаружению причин отказа (события, заключающегося в нарушении работоспособности) отдельных элементов и их устранения;

- безопасность электрической сети – допускание в ней ситуаций опасных для людей и окружающей среды;

- живучесть электрической сети – свойство системы противостоять возмущениям не допуская их каскадного развития с массовым нарушением питания потребителей;

- качество электрической сети – совокупность свойств, определяющих степень пригодности системы по назначению.

Применительно к перечисленным свойствам электрической системы, как объекта изучения надежности под показателем надежности понимается количественная характеристика одного или нескольких ее свойств [15].

В качестве показателей, количественно характеризующих надежность участка сети и ее элементов, рекомендуется использовать [26]:

- параметр потока отказов  $\omega$  (при простейшем параметре потока отказов  $\omega = \lambda$ ), т.е. среднее количество отказов в единицу времени (обычно год), отнесенные к одному элементу, отказ/год. Для линий электропередачи



параметр потока отказов может относиться к 1 км линии и измеряется в отказ/(км·год);

– среднее время восстановления (аварийного ремонта)  $T_v$ , год/отказ;

– параметр потока преднамеренных (плановых) отключений  $\omega_p$ , простой/год;

– средняя продолжительность одного преднамеренного отключения  $T_{п}$ , год/простой;

– коэффициент готовности (вероятность работоспособного состояния в промежутках между плановыми ремонтами)  $K_r$ , о.е;

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

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

Перечисленные показатели надежности являются техническими характеристиками и позволяют сопоставлять между собой надежность нескольких альтернативных вариантов построения сети, а также проверять соответствие требуемого уровня надежности [9].

Причинами снижения показателей надежности электрической сети в основном являются следующие факторы [11]:

– старение оборудования (изменение свойств материалов);

– недостатки проектирования;

– дефекты конструкции и изготовления;

– дефекты монтажа;

– недостатки эксплуатации;

– посторонние воздействия;

– климатические воздействия (атмосферные перенапряжения, изменения температуры окружающей среды, действие ветра, гололедные образования на проводах, вибрации и «пляска» проводов, загрязнение воздуха, влияние геомагнитных бурь).

Распределение отказов представлено на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, самыми значительными являются отказы, вызванные влиянием климатических воздействий и составляют порядка 40 %. Самыми тяжелыми являются гололедно-ветровые воздействия [3]. Невыясненные причины составляют 27 %, посторонние воздействия – 22 % и на долю дефектов монтажа и эксплуатации приходится 4% и 9% соответственно.

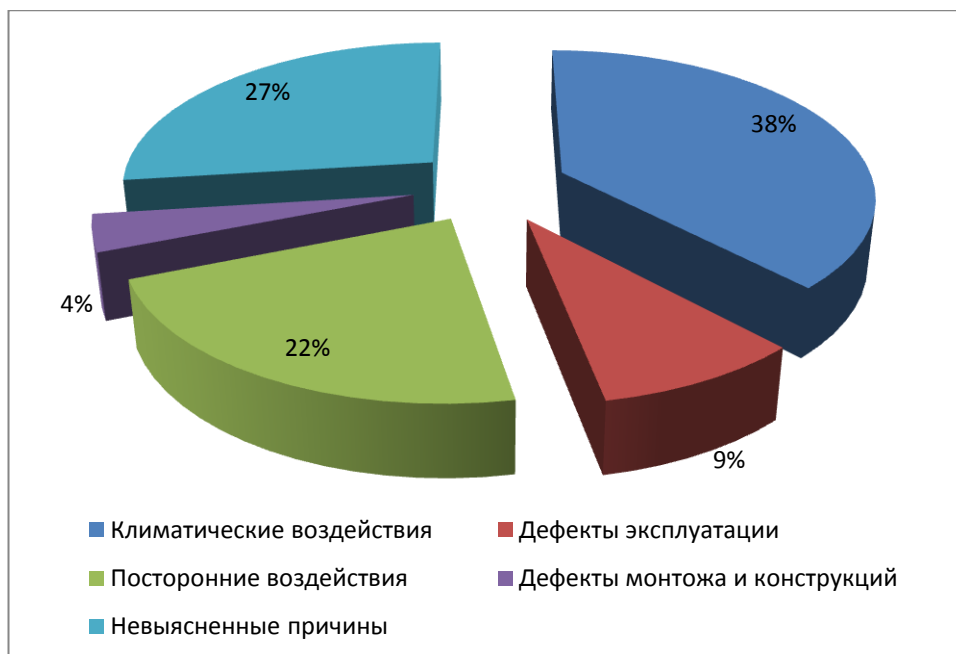


Рисунок 1 – Распределение отказов основных элементов электрических сетей в процентах к общему числу отказов

При этом, для оценки надежности элементов сети с учетом влияния внешних факторов целесообразно использовать метод поправочных коэффициентов. Параметры потока отказов первичных элементов умножаются на поправочный коэффициент, значение которого определяется в зависимости от погодных условий и времени года. В качестве исходной информации целесообразно использовать карты климатических условий по ветровым и гололёдно-ветровым нагрузкам [12].

Анализ литературных источников показывает, что объективные экономические условия функционирования распределительных электрических сетей России в последние десятилетия привели к заметному снижению темпов их реконструкции, технического перевооружения и нового строительства. Поэтому возросла динамика физического износа сетевых объектов, что, в свою очередь, привело к росту отключений в распределительных сетях напряжением 6-20 кВ в среднем до 30 отключений в год в расчете на 100 км длины воздушных и кабельных линий [4].

Это приводит к нарушению электроснабжения промышленных и бытовых электропотребителей, большим прямым и косвенным материально-техническим затратам. Поэтому необходимо уделять особое внимание вопросам повышения надежности электрических сетей.

От надёжности электрической сети зависят экономические показатели работы оборудования. В качестве количественной меры экономической оценки используется ущерб от перерывов в электроснабжении. В системе электроснабжения оправдано только такое повышение надёжности, которое бы приводило к минимальным затратам, как со стороны энергоснабжающей организации, так и со стороны конкретного потребителя [8].

Многие ученые рассматривали эту проблему, например, Будзко И.А., Лещинская Т.Б., Хорольский В.Я., Водяников, Оськин С.В. и т.д. Тем не менее, до настоящего времени не найден универсальный подход, не разработаны методы и методики оценки стоимостных составляющих для конкретных сельскохозяйственных потребителей [16].

Таким образом, сложилась проблемная ситуация: несмотря на большое количество разработок и научных исследований по надежности электроснабжения потребителей, уровень надежности сохраняется на низком уровне, что связано с одной стороны с физическим износом сетевых объектов, а с другой - с экономической ситуацией, не адаптированными для потребителей условий предложениями по повышению надежности.

## 1.2 Методические аспекты и подходы к оценке надёжности электрической сети

Электрическая сеть относится к многоуровневым иерархическим системам. При оценке надёжности функционирования электрической сети важно различать следующие иерархические уровни рассмотрения (рисунок 2) [1].

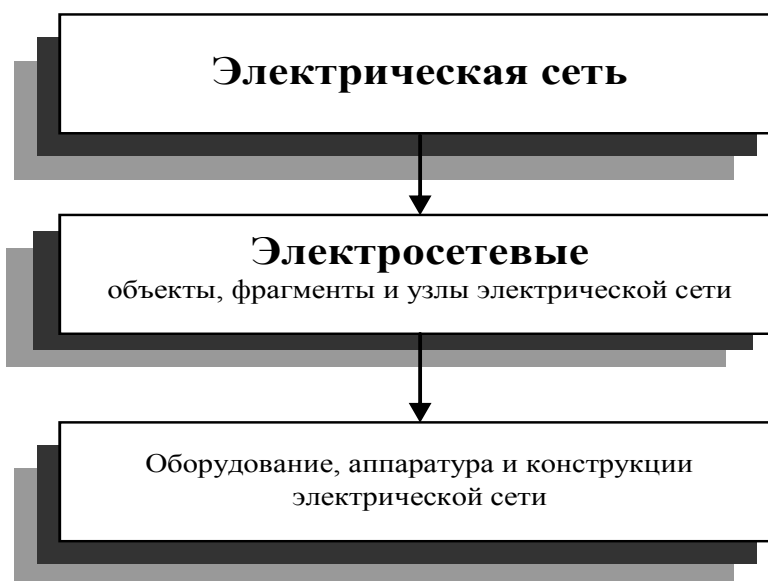


Рисунок 2 – Иерархические уровни электрической сети

Верхний уровень – электрическая сеть в целом – представляет собой уникальный объект рассмотрения.

Средний уровень – электросетевые объекты, фрагменты и узлы электрической сети – к данному уровню относятся большинство типовых технических решений, которые могут повторяться при проектировании линий электропередачи, узлов электрических подстанций, внешнего электроснабжения выделенного узла нагрузки, комплекса релейной защиты и автоматики и другого.

Нижний уровень – оборудование, аппаратура и конструкции – включает в себя электросетевое силовое оборудование, коммутационную аппаратуру, элементы и конструкции линий электропередачи и электроподстанций, аппаратуру систем автоматики, релейной защиты и управления. Всё перечисленное относится к заводским изделиям, как правило, серийного выпуска[1].

Для каждого уровня системы существует ряд своих особенностей, закономерностей и принципов, критериев и показателей, характеризующих поведение системы. В общем случае критерии и показатели, используемые для характеристики системы на одном уровне, не всегда применимы для других уровней рассмотрения. Поэтому оценки надёжного функционирования электросети, подходы и способы их получения могут различаться в зависимости от иерархического уровня [19].

Другим важным методическим аспектом при исследовании свойства надёжности электрической сети является понятие «отказа». В последующем изложении под отказом понимается непредусмотренное прекращение или утрата объектом способности выполнять в необходимом объёме (размере) свои функции свыше допустимого времени.

Причинами отказов в электрической сети в большинстве случаев являются повреждения в оборудовании, аппаратуре и конструкциях электросетевых объектов или появление недопустимых режимных параметров в элементах сети, требующее принятия неотложных действий по их устранению[23].

Все случаи повреждения элементов электрической сети, недопустимых отклонений параметров технического состояния электрических установок, а также полных или частичных незапланированных отключений электроустановок электроприемников относятся к технологическим нарушениям, которые в зависимости от тяжести последствий подразделяются на аварии и инциденты [2].

Все технологические нарушения подлежат расследованию и учёту, что позволяет создать базу данных по аварийности в электрических сетях за продолжительный срок эксплуатации.

Из вышеизложенного следует, что для оценки надёжности электрической сети необходимо иметь критерии, на основании которых рассматриваемая на соответствующем иерархическом уровне сеть может быть отнесена к состоянию отказа. Эти критерии определяют допустимые границы показателей, характеризующих выполнение объектом своих функций в необходимом объёме, при выходе из которых на недопустимое время объект переходит в состояние отказа [7].

При исследовании свойств электрической сети следует учитывать вероятностную природу её функционирования. Режим работы сети, загрузка её элементов базируются на неопределённости фактических значений генерации и потребления энергии в соответствующих узлах сети. Возникновение технологических нарушений в элементах электрической сети и масштабы их

последствий зависят от многих случайных факторов. Поэтому изучение поведения таких комплексов, включая оценки их надежности, имеют смысл в рамках вероятностных категорий. Другими словами, показатели надёжности электрической сети имеют вероятностную природу [10].

Отечественный и зарубежный опыт решения задач по оценке надёжности систем электроэнергетики показывает, что показатели надёжности в общем случае образуют три группы [19]:

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

При выборе состава показателей надёжности электрической сети следует учитывать иерархический уровень рассмотрения, степень ответственности объекта, условия его эксплуатации, характер отказов, возможные последствия от них. При этом необходимо, чтобы число нормируемых показателей надёжности было минимально, они имели простой физический смысл, допускали возможность получения расчетной оценки на этапе проектирования и получения статистической оценки по результатам испытаний или данным эксплуатации [24].

Ещё один важный методический аспект функционирования электрической сети, определяющий подход к оценке её надёжности, заключается в том, что все происходящие в сети технические нарушения и связанные с ними отказы образуют во времени поток событий.

Потоком событий называется последовательность однородных событий, появляющихся одно за другим в случайные моменты времени. Важным понятием для потока событий является интенсивность потока  $\lambda(t)$  – среднее число событий, приходящееся на единицу времени [11].

С учётом сформулированных методических аспектов к оценке надёжности электрической сети далее рассматривается классификация отказов.

### **1.3 Понятие и классификация отказов**

Любой элемент электрической сети в каждый конкретный момент времени находится либо в рабочем, либо в нерабочем состоянии. Под нерабочим состоянием понимается предупредительный или аварийный ремонт, аварийный простой (по причине неисправности данного элемента) или зависимый простой (по причине неисправности другого элемента сети, связанного с рассматриваемым) [13].

Рабочее состояние включает в себя следующие режимы:

- нормальный, когда значения всех заданных параметров режима работы не превышают установленные пределы;
- аварийный – от момента возникновения отказа элемента до момента локализации отказа;
- послеаварийный – от момента локализации отказа до установления заданного нормального режима.

Основным в теории надежности является понятие отказа, являющееся важным методическим аспектом при исследовании свойств надежности [20].

Под отказом понимается непредусмотренное прекращение или утрата объектом способности выполнять в необходимом объеме свои функции свыше допустимого времени.

По характеру процесса возникновения отказы делятся на внезапные и постепенные. Внезапные отказы характеризуются резким, скачкообразным изменением основных параметров системы или ее элемента вследствие воздействия многих случайных факторов. Внезапный отказ обычно является следствием накопления мелких неисправностей и повреждений [17].

Постепенные отказы наступают вследствие плавного изменения параметров системы при ее износе или старении. Для большинства элементов системы электроснабжения постепенное превышение их характеристик границы допуска обычно проходит незамеченным, и перерыв в электроснабжении наступает только тогда, когда элемент не в состоянии выполнять своих функций, т.е. при внезапном отказе. Поэтому любой отказ, приведший к перерыву электроснабжения, можно рассматривать как внезапный [1].

Отказы могут быть устойчивыми, если для их ликвидации требуется ремонт. Элемент не подлежит восстановлению, или является неустойчивыми, если они могут самоустраниться. Кратковременные самоустраняющиеся отказы часто называют сбоями. Многократно возникающие сбои одного и того же характера принято называть перемежающимися отказами. Перемежающиеся отказы могут возникать в схемах электроснабжения как результат кратковременных нарушений нормального режима [22].

Причинами отказов электроэнергетического оборудования являются повреждения или неисправности. Под повреждениями понимают разрушение оборудования, поломку деталей, нарушение целостности электрических и магнитных цепей, порчу изоляции. К неисправностям относят разрегулировку механизмов и защитных устройств без их разрушения, порчи и т.п. [25].

Повреждения и неисправности в системах электроснабжения могут возникнуть из-за дефектов оборудования.

Возникновению отказов способствуют также часто встречающиеся недостатки при эксплуатации оборудования, такие как пренебрежение указаниями заводских инструкций по монтажу, регулировке и обслуживанию, не качественно выполненные электромонтажные работы, недопустимые замены материалов изношенных деталей, в особенности контактных, нарушение правил хранения и транспортировки, неправильное использование в непредусмотренных режимах или условиях и неправильная, небрежная или несвоевременная профилактика [18].

При этом в зависимости от причины возникновения различают конструкционные, производственные и эксплуатационные отказы. К конструкционным относят отказы, возникающие в результате ошибок конструктора, нарушения установленных норм и правил конструирования. Производственные отказы возникают вследствие нарушения или

несовершенства технологического процесса изготовления или ремонта объекта. Причиной эксплуатационных отказов, как правило, является нарушение установленных правил и условий эксплуатации объекта.

Все случаи повреждения элементов электрической сети, недопустимых отклонений параметров технического состояния энергетических установок, а также полных или частичных незапланированных отключений энергоустановок и энергоприёмников относятся к технологическим нарушениям, которые в зависимости от тяжести последствий подразделяются на аварии и инциденты [21].

Все технологические нарушения подлежат расследованию и учёту, что позволяет сформировать базу данных по аварийности в электрических сетях за продолжительный срок эксплуатации.

## 2 Аналитическая часть

### 2.1 Характеристика ООО «МРЭС»

Общество с ограниченной ответственностью «Межрайонные распределительные электрические сети» учреждено в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации юридическими лицами: ООО «СибирьЭнергоСервис» (95% уставного капитала общества) и ОАО «Хакассетьремонт» (5% уставного капитала общества).

Сокращенное фирменное название: ООО «МРЭС».

Общество с ограниченной ответственностью «Межрайонные распределительные электрические сети» поставлено на учет в соответствии с положениями Налогового кодекса Российской Федерации 30 июля 2010 года.

Общество является юридическим лицом и свою деятельность организует на основании Устава, ФЗ № 14 от 08.02.1998 (ред. от 29.12.2015) «Об обществах с ограниченной ответственностью», Гражданского кодекса Российской Федерации и иными нормативно-правовыми актами.

Основным видом деятельности Общества являются:

- оказание услуг по передаче электрической энергии; гарантированное, бесперебойное обеспечение потребителей электрической энергией необходимого качества на основании заключенных договоров;

- эксплуатация электрических сетей;

- выдача в установленном порядке технических условий и осуществление технологического присоединения энергопринимающих устройств (энергетических установок) юридических и физических лиц к электрическим сетям, а так же рассмотрение проектов и выдача заключения по ним.

Организационная структура предприятия состоит из трех районов электрических сетей, в зону обслуживания которых включены территории следующих населенных пунктов Республики Хакасия:

РЭС-1: р.п. Усть-Абакан, п. Расцвет, с.Зеленое, с.Солнечное, с. Калинино, п. Имени Ильича, д. Курганная, д. Заря, пгт. Вершина Теи.

РЭС-2: г. Сорск, с. Усть-Бюрь, п. Майский.

РЭС-3: г. Абаза.

Производственная база РЭС-1 расположена по адресу: р.п. Усть-Абакан, ул. Кирова, 15.

Производственная база РЭС-2 расположена по адресу: г. Сорск, ул. Базовая, 2А.

Производственная база РЭС-3 расположена по адресу: г. Абаза, ул. Комсомольская, 22.

Организационная структура Общества с ООО «МРЭС» представлена ниже на рисунке 3.



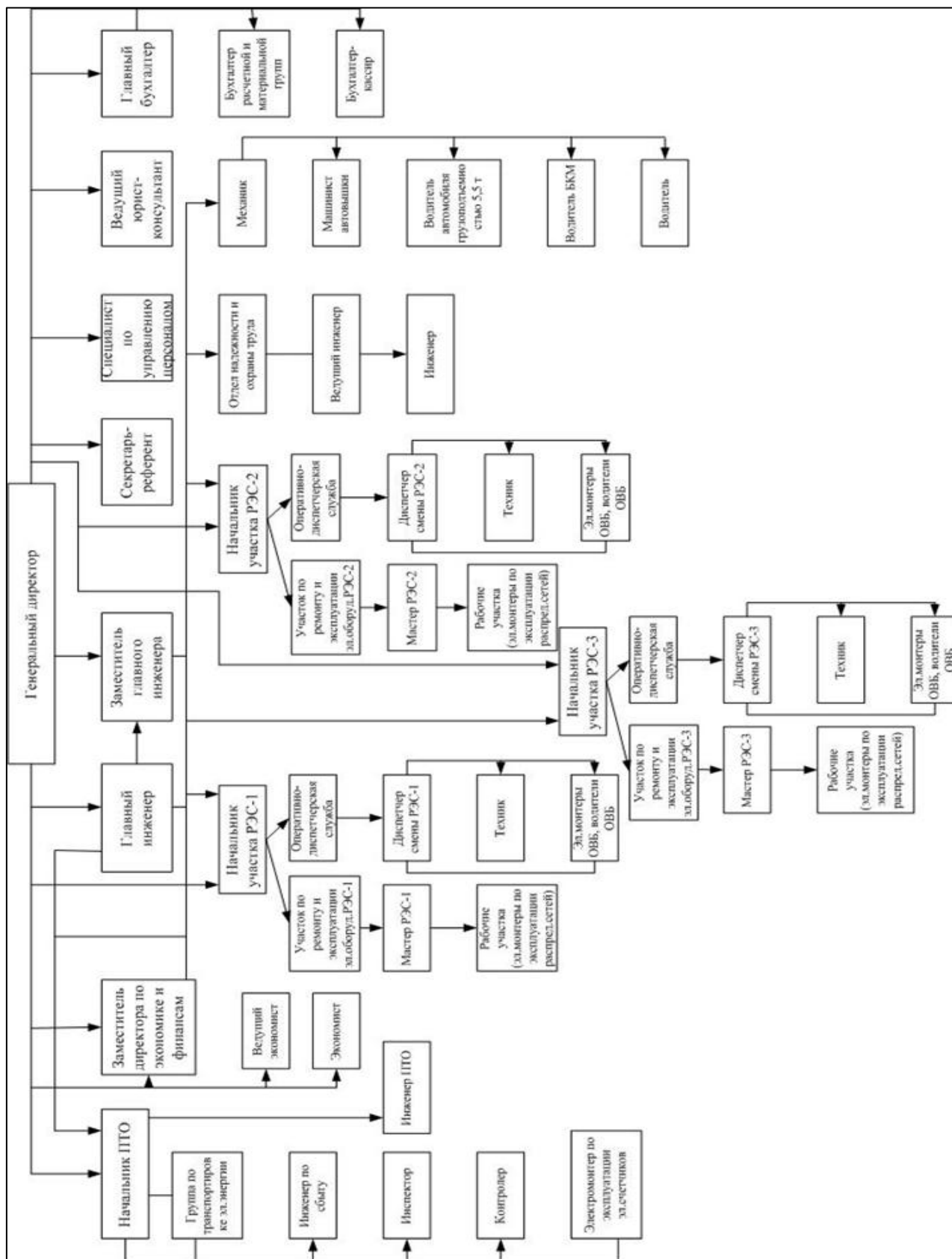


Рисунок 3 – Организационная структура ООО «MPES»

Целью деятельности РЭС-1 является надежное и бесперебойное электроснабжение электрооборудования и электроустановок потребителей электрической энергией, поддержание рабочего состояния воздушных линий электропередач, преобразовательных подстанций, кабельных линий, оборудования.

Основные направления деятельности подразделений, входящих в состав районных электрических сетей:

- обеспечение надежной и экономичной работы всех устройств и оборудования, находящихся на балансе РЭС, осуществление мер по предупреждению отказов, браков в работе и аварий на объектах линий электропередач и преобразовательного оборудования, при неуклонном выполнении ПТЭ и требований ПТБ;

- контроль за экономичным расходом электроэнергии и соблюдением правил эксплуатации электротехнических установок на предприятии и в районе деятельности РЭС;

- круглосуточное обеспечение потребителя электрической энергией надлежащего качества, подаваемой в необходимых объемах;

- реализация программ по техническому перевооружению и модернизации электрооборудования;

- автоматизация учета электропотребления;

- проектирование систем электроснабжения на напряжении до и выше 1 кВ;

- разработка и учет электрических схем питающих и распределительных сетей;

- проведение мероприятий рационального расхода электроэнергии за счет ее правильного учета и рационального использования;

- проведение мероприятий по снижению потерь мощности в системах электроснабжения;

- снижения потерь электроэнергии в сети путем оперативной оптимизации режимов ее работы;

- повышения качества и надежности функционирования линий электропередач;

- снижения времени ликвидации аварий в сетях;

- уменьшения аварийного недоотпуска электроэнергии;

- обеспечения качества электроэнергии и как результат повышение сроков службы оборудования.

## 2.2 Характеристика районных распределительных сетей 10-110 кВ

В Усть-Абаканском районе часть электрических сетей 10-110 кВ обслуживается ООО «МРЭС».

Территория, входящая в зону обслуживания РЭС-1 составляет 52,5 км<sup>2</sup>, на которых расположено 8 населённых пунктов.

Численность населения, являющегося потребителями электрической энергии 5200 человек.

По природно-климатическим условиям район относится к IV по гололёду. 3 по скоростному напору ветра, среднесуточная температура для зимнего периода – 24°С.

Основная часть линий 10-110 кВ спроектирована и построена более 30 лет тому назад и поэтому не отвечает современным требованиям надежности.

Сети 10-110 кВ работают в режиме трех проводов с глухо заземленной нейтралью. ВЛ по материалам опор распределяются таким образом: преимущественно применяются железобетонные опоры, на долю металлических и деревянных опор приходится примерно 30 %.

Сети 10 кВ выполнены проводами АС-25, АС-35 и АС-50 (более 85%), а доля проводов АС-70 и АС-95 (не более 15%). В настоящее время успешно внедряются самонесущие изолированные провода (СИП).

На обслуживаемой территории расположено 8 подстанций: ПС №26 «КСК 110/35/10 кВ», ПС №20 «Калининская 110/10 кВ», ПС №120 «Гидролизная 110/6 кВ», ПС №11 «Искож 110/10 кВ», ПС №71 «Степная 35/10 кВ», ПС №46 «Уйбатский ЛПХ 35/10 кВ», ПС №76 «Доможаков 35/10 кВ» и ПС №34 «Насосная 110/10 кВ».

В данной работе была выделена подстанция с наибольшим количеством отказов за период 2011-2016 гг, питающая потребителей сельскохозяйственного назначения: ПС №11 «Искож 110/10 кВ».

Подстанция представлена двумя классами напряжения: 110 и 10 кВ. Секционный разъединитель РДЗ – 110 служит для разделения воздушных линий (ВЛ) С – 90 и С – 339. Трансформатор напряжения 110кВ (ТН – 110) предназначен для питания вторичных цепей напряжения защит, автоматики, средств учета и измерений. Силовые трансформаторы 1Т, 2Т служат для понижения напряжения с 110кВ до 10кВ.

Подстанция находится под ответственностью руководителя работ в должности электромонтера по эксплуатации распределительных сетей в зоне обслуживания по ПС «Искож».

От ПС «Искож 110/10 кВ» запитано 14 трансформаторных подстанций, находящиеся на обслуживании участка РЭС-1. Ремонт и обслуживание подстанций осуществляется электромонтерами бригады ОВБ.

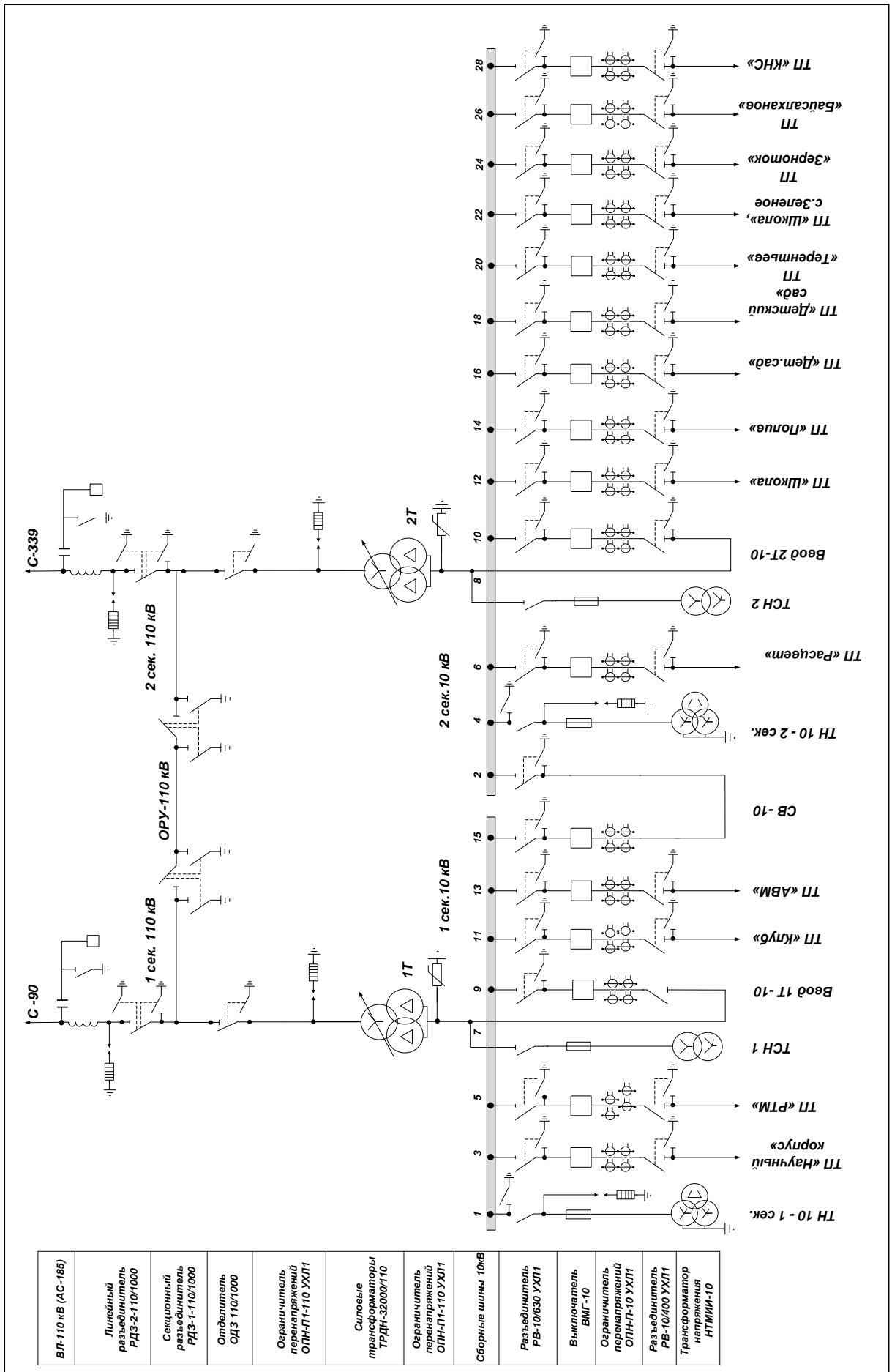


Рисунок 4 – Однолинейная схема ПС №11 «Искож 110/10»

## 2.3 Исходные данные для расчета показателей надежности электроснабжения потребителей

Исходными данными для расчета показателей надежности являются:

1. Сведения о подстанции (ПС) 110 /10 кВ:
  - высшее напряжение ПС, кВ;
  - число трансформаторов на ПС 110 /10 кВ, шт.;
  - число линий электропередач (ЛЭП) 110 кВ, присоединенных к шинам ПС 110 /10 кВ;
  - наличие секционного выключателя на стороне 110 кВ;
  - число выключателей 10 кВ на ПС 110/10 кВ, шт.;
  - наличие оперативно-выездной бригады (ОВБ) дежурного на ПС, расстояния между подстанциями, расстояние от базы оперативно-выездной бригады до подстанций;
  - наличие автоматического включения резерва (АВР) на стороне 10 кВ.
2. Сведения о воздушных линиях (ВЛ) электропередачи 10 кВ:
  - схемы сетей ВЛ 10 кВ с указанием длины участков, марки и сечения проводов, трансформаторы, с диспетчерскими номерами и установленной мощностью, коммутационные аппараты (разъединители, выключатели);
  - сведения о количестве элементов различных видов на линии.
3. Сведения о потребителях РЭС:
  - схема электрических соединений ПС №11 «Искож – 110/10 кВ»;
  - схема электрической цепи «источник питания-потребитель»;
  - перечень трансформаторных подстанций (ТП).

Перечень ТП 10/0,4 кВ, запитанных от ПС №11 «Искож 110/10 кВ», находящихся на обслуживании участка РЭС-1 представлен ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень ТП 10/0,4кВ, запитанных от ПС «Искож 110/10 кВ»

№ п/п	Диспетчерское наименование ТП	Мощность трансформатора, кВА	Характеристика зданий	Место расположения
1	2	3	4	5
1	ТП 11-03-01 «Расцвет»	400	ТП	п.Расцвет
2	ТП 11-03-02 «Школа»	400	КТП	п. Расцвет
3	ТП 11-03-03 «Дет. сад»	400	КТП	п. Расцвет
4	ТП 11-03-04 «Полив»	400	ТП	п.Расцвет
5	ТП 11-03-08 «Терентьев»	400	КТП	п. Расцвет
6	ТП 11-18-12 «АВМ»	400	КТП	с. Зеленое
7	ТП 11-18-14 «Клуб»	250	ТП	с. Зеленое
8	ТП 11-18-16 «Научный корпус»	400	ТП	с. Зеленое
9	ТП 11-18-20 «РТМ»	250	КТП	с. Зеленое
10	ТП 11-21-04 «КНС»	250	КТП	с. Зеленое
11	ТП 11-21-05 «Дет. сад»	400	КТП	с. Зеленое

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
12	ТП 11-21-06 «Школа»	400	ТП	с. Зеленое
13	ТП 11-21-07 «Зерноток»	400	КТП	с. Зеленое
14	ТП 11-21-37 «Байсалханов»	630	КТП	с. Зеленое

В качестве исходных данных при расчете надежности используются справочные материалы и статистические данные параметров потока отказов и среднего времени восстановления элементов электрической сети, представленные в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Табличные значения параметров потока отказов элементов электрической сети

Элемент сети	$\omega$ , отказ/год при U 110 кВ	$\omega$ , отказ/год при U 10 кВ
1	2	3
Воздушные линии: (100 км) - одноцепные - двухцепные (отказ одной цепи)	– 3,9	2 –
Трансформаторы	0,03	0,01
Выключатели (на один выключатель)	0,01	0,01
Отделители	0,03	–
Разъединители	0,0075	0,009
Короткозамыкатели	0,02	–

Таблица 3 – Табличные значения среднего времени восстановления элементов электрической сети

Элемент сети	Среднее время восстановления при U 110 кВ $T_{в}$ , час	Среднее время восстановления при U 10 кВ $T_{в}$ , час
1	2	3
Воздушные линии	7	5
Отделители	3,5	-
Короткозамыкатели	3,5	-
Трансформаторы	70,1	50
Линейные разъединители	4,8	4,8
Секционные разъединители	3,5	3,5
Линейные выключатели	17,5	10,5

### Окончание таблицы 3

1	2	3
Секционные выключатели	13,1	8,76
Разъединители	4,15	4,15
Выключатели	15,3	9,63

#### 2.4 Расчет количества внезапных отключений

Вероятное расчетное количество отказов электроснабжения потребителя определяется числом отключений электрических элементов по цепи «источник питания – потребитель» с учетом наличия устройств противоаварийной защиты и автоматики. Началом цепи «источник питания - потребитель» принимаются шины 110 кВ подстанции, а последним элементом конец питающей линии на зажимах вводного устройства потребителя.

Расчет количества отключений каждого элемента цепи «источник питания – потребитель» основан на учете их удельной повреждаемости.

Тогда количество повреждений, возникших в этой цепи за год, рассчитывается по формуле (1):

$$M = \sum \omega_i \cdot n_i , \quad (1)$$

где  $\omega_i$  – параметр потока отказов  $i$ -го элемента;

$n_i$  – количество элементов  $i$ -го вида в цепи «источник – потребитель».

Учитывая все элементы цепи «источник – потребитель» количество внезапных отключений потребителя за год можно представить в виде формулы 2:

$$N = N_{ВЛ\ 110} + N_{ЛР\ 110} + N_{СР\ 110} + N_{ОД\ 110} + N_{КЗ\ 110} + N_{Т\ 110} + N_{В.В.\ 10} + N_{В.Р.\ 10} + N_{ЛР\ 10} + N_{ЛВ\ 10} + N_{СВ\ 10} + N_{ВЛ\ 10} + N_{Р\ 10} + N_{ТП\ 10} , \quad (2)$$

где  $N_{ВЛ\ 110}$ ,  $N_{ЛР\ 110}$ ,  $N_{СР\ 110}$ ,  $N_{ОД\ 110}$ ,  $N_{КЗ\ 110}$ ,  $N_{Т\ 110}$ ,  $N_{В.В.\ 10}$ ,  $N_{В.Р.\ 10}$ ,  $N_{ЛР\ 10}$ ,  $N_{ЛВ\ 10}$ ,  $N_{СВ\ 110}$ ,  $N_{ВЛ\ 10}$ ,  $N_{Р\ 10}$ ,  $N_{ТП\ 10}$  – количество внезапных отключений потребителя из-за повреждений соответственно на воздушной линии 110 кВ, линейном разъединителе 110 кВ, секционном разъединителе 110 кВ, отделителе 110 кВ, короткозамкатель 110 кВ, трансформаторе 110 кВ, вводном выключателе 10 кВ, вводном разъединителе 10 кВ, линейном разъединителе 10 кВ, линейном выключателе 10 кВ, секционном выключателе 10 кВ, воздушной линии 10 кВ, разъединителе 10 кВ, трансформаторе 10 кВ.

Произведем расчет количества внезапных отключений потребителей участка РЭС-1 ПС №11 «Искож – 110/10 кВ» по методикам описанным выше, по формуле (2). А так же рассчитаем выборочное среднее квадратическое отклонение  $S$  и доверительный интервал для  $M$  с заданной надежностью  $\beta=0,95$ .

Величина потока отказов для каждого из элементов цепочки «источник питания – потребитель» получена путем мониторинга сведений об отказах электрооборудования, зафиксированных в журналах учета данных по всем прекращением передачи электрической энергии, произошедших на объектах РЭС-1 за период 2011-2016 г.г.

Рассчитаем количество внезапных отключений на ПС №11 «Искож – 110/10 кВ» для элементов сети 110 кВ ( ВЛ 110 кВ, разъединители линейный и секционный, отделитель, короткозамыкатель и трансформатор 110/10В):

Таблица 4 – Элементы сети 110 кВ, ПС №11 «Искож 110/10 кВ»

Элемент сети	Тип оборудования	Длина, км количество, шт	ω, отказ/год при U 110 кВ
1	2	3	4
Двухцепная воздушная линия	ВЛ-110 С-90 (АС-185)	4,75	0,41/0,19
Двухцепная воздушная линия	ВЛ-110 С-339 (АС-185)	2,1	0,185/0,08
Секционный разъединитель	РДЗ-1-110/1000	2	0,01/0,0075
Линейный разъединитель	РДЗ-2-110/1000	4	0,02/0,075
Отделитель	РГ-110/1000	2	0,037/0,03
Короткозамыкатель	КЗ-110	2	0,029/0,02
Трансформатор (1Т)	ТРДН – 32000/110/10	1	0,045/0,03
Трансформатор (2Т)	ТРДН – 32000/110/10	1	0,057/0,03

Мониторинг для первой секции:

$$M_{BH1} = 0,41 \cdot 2 + 0,01 \cdot 1 + 0,02 \cdot 2 + 0,037 \cdot 1 + 0,029 \cdot 1 + 0,04 \cdot 1 = 0,976 \text{ откл/год};$$

Статистика для первой секции:

$$M_{BH1} = 0,19 \cdot 2 + 0,0075 \cdot 1 + 0,0075 \cdot 2 + 0,03 \cdot 1 + 0,02 \cdot 1 + 0,03 \cdot 1 = 0,642 \text{ откл/год};$$

Мониторинг для второй секции:

$$M_{BH2} = 0,18 \cdot 2 + 0,01 \cdot 1 + 0,02 \cdot 2 + 0,037 \cdot 1 + 0,029 \cdot 1 + 0,047 \cdot 1 = 0,603 \text{ откл/год};$$

Статистика для второй секции:

$$M_{BH2} = 0,08 \cdot 2 + 0,0075 \cdot 1 + 0,0075 \cdot 2 + 0,03 \cdot 1 + 0,02 \cdot 1 + 0,03 \cdot 1 = 0,263 \text{ откл/год};$$



Полученные результаты сведем в итоговую таблицу 5. В итоговые таблицы заносим средние значения количества повреждений цепи за год.

Таблица 5 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения, элементы сети 110 кВ

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	0,442/0,229	0,213	0,3304	0,5536
в том числе из-за отказов:				
ЛЭП 110 кВ	0,295/0,134	0,031	0,122	0,208
Линейного разъединителя 110 кВ	0,02/0,0075	0,0125	0,0027	0,0373
Секционного разъединителя 110 кВ	0,01/0,0075	0,0025	0,0065	0,0135
Отделителя 110 кВ	0,037/0,03	0,007	0,0273	0,0467
Короткозамыкателя	0,029/0,02	0,009	0,0165	0,0415
Трансформатора 110/10 кВ	0,051/0,03	3,04	1,1432	7,2832

Рассчитаем количество внезапных отключений для элементов сети 10 кВ.

Расчет проводим для 14 трансформаторных подстанций, перечисленных выше в таблице 1.

При расчете показателей надежности для каждой из рассматриваемых трансформаторных подстанций учитываем количество повреждений, возникших в элементах сети 10 кВ.

ТП 11-18-16 «Научный корпус», в имеющейся схеме электроснабжения запитанной от первой секции шин. Цепочка «источник питания – ТП 11-18-16» включает элементы 10 кВ (таблица 6).

Таблица 6 – Элементы сети 10 кВ, ТП 11-18-16 «Научный корпус»

Элемент сети	Тип оборудования	Длина, км количество, шт	$\omega$ , отказ/год при U 10 кВ
1	2	3	4
Линейный разъединитель яч №3	РВ-10/630	2	0,012/0,009
Линейный выключатель яч №3	ВМГ-10/1000	1	0,018/0,01
Разъединитель ввод 1Т-10	РВ – 10/630	2	0,02/0,009
Секционный разъединитель	РВЗ – 10/630	1	0,02/0,009
Секционный выключатель	ВМП-10/1000	1	0,08/0,01
Выключатель ввод 1Т-10	ВМГ-10/1000	1	0,09/0,01
ВЛ Ф№18-16	АС-70	14,174	2,55/0,55
Разъединитель Ф№18-16	РЛНД-10/400	1	0,02/0,009
ТП 11-18-16 «Научный корпус»	ТМ-400/10	1	0,019/0,01

Мониторинг:  
Цепь элементов ячейки №3;

$$M_{3,м} = 0,012 \cdot 2 + 0,07 \cdot 1 + 0,02 \cdot 2 + 0,02 \cdot 1 + 0,08 \cdot 1 + 0,09 \cdot 1 + 2,55 \cdot 1 + 0,02 \cdot 1 + 0,019 \cdot 1 = 2,913 \text{ откл/год};$$

Статистика:

Цепь элементов ячейки №3;

$$M_{3,см} = 0,009 \cdot 2 + 0,01 \cdot 1 + 0,009 \cdot 2 + 0,009 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,55 \cdot 1 + 0,009 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 = 0,629 \text{ откл/год};$$

Таблица 7 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания – ТП11-18-16 «Научный корпус»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. Квадр. Отклонение S	Доверит. Интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	2,913/0,629	2,284	1,7166	4,1094
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №3	0,012/0,009	0,003	0,0109	0,0131
Линейный выключатель яч №3	0,018/0,01	0,008	0,0138	0,0222
Разъединитель ввод 1Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,79	0,7484	2,3484
Выключатель ввод 1Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№18-16	2,551/0,553	2,0768	1,4631	3,6389
Разъединитель Ф№18-16	0,02/0,009	0,011	0,0159	0,0241
ТП 11-18-16 «Научный корпус» 10/0,4	0,019/0,01	0,009	0,0143	0,0237

ТП 11-18-20 «РТМ», в имеющейся схеме электроснабжения является ячейкой №5, запитанной от первой секции шин. Цепочка «источник питания – ТП 11-18-20» включает элементы сети 10 кВ (таблица 8).

Таблица 8 – Элементы сети 10 кВ, ТП 11-18-20 «РТМ»

Элемент сети	Тип оборудования	Длина, км количество, шт	$\omega$ , отказ/год при U 10 кВ
1	2	3	4
Линейный разъединитель яч №5	РВ-10/630	2	0,014/0,009
Линейный выключатель яч №5	ВМГ-10/1000	1	0,022/0,01
Разъединитель ввод 1Т-10	РВ – 10/630	2	0,02/0,009
Секционный разъединитель	РВЗ – 10/630	1	0,022/0,009
Секционный выключатель	ВМП-10/1000	1	0,081/0,01
Выключатель ввод 1Т-10	ВМГ-10/1000	1	0,09/0,01
ВЛ Ф№18-20	АС-95	14,477	2,605/0,564

Окончание таблицы 8

1	2	3	4
Разъединитель Ф№18-20	РЛНД-10/400	1	0,022/0,009
ТП 11-18-20 «РТМ» 10/0,4	ТМ-400/10	1	0,019/0,01

Мониторинг:

Цепь элементов ячейки №5;

$$M_{5.m} = 0,014 \cdot 2 + 0,022 \cdot 1 + 0,02 \cdot 2 + 0,022 \cdot 1 + 0,081 \cdot 1 + 0,09 \cdot 1 + 2,605 \cdot 1 + 0,022 \cdot 1 + 0,296 \cdot 1 = 2,895 \text{ откл/год};$$

Статистика:

Цепь элементов ячейки №5;

$$M_{5.cm} = 0,009 \cdot 2 + 0,01 \cdot 1 + 0,009 \cdot 2 + 0,009 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,564 \cdot 1 + 0,009 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 = 0,64 \text{ откл/год};$$

Таблица 9 - Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания – ТП11-18-20 «РТМ»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	2,895/0,64	2,255	1,7138	4,0762
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №5	0,014/0,009	0,005	0,0121	0,0159
Линейный выключатель яч №5	0,022/0,01	0,012	0,0157	0,0283
Разъединитель ввод 1Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,022/0,009	0,013	0,0040	0,0400
Секционный выключатель	0,081/0,01	0,071	0,0582	0,2202
Выключатель ввод 1Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№18-20	2,605/0,564	2,041	1,5359	3,6741
Разъединитель Ф№18-20	0,022/0,009	0,013	0,0172	0,0268
ТП 11-18-20 «РТМ» 10/0,4	0,019/0,01	0,009	0,0143	0,0237

ТП 11-18-14 «Клуб», в имеющейся схеме электроснабжения является ячейкой №11, запитанной от первой секции шин.

Таблица 10 – Элементы сети 10 кВ, ТП 11-18-14 «Клуб»

Элемент сети	Тип оборудования	Длина, км количество, шт	$\omega$ , отказ/год при U 10 кВ
1	2	3	4
Линейный разъединитель яч №11	РВ-10/630	2	0,032/0,009

Окончание таблицы 10

1	2	3	4
Линейный выключатель яч №11	ВМГ-10/1000	1	0,028/0,01
Разъединитель ввод 1Т-10	РВ – 10/630	2	0,02/0,009
Секционный разъединитель	РВЗ – 10/630	1	0,06/0,009
Секционный выключатель	ВМП-10/1000	1	0,08/0,01
Выключатель ввод 1Т-10	ВМГ-10/1000	1	0,09/0,01
ВЛ Ф№18-14	АС-50	15,052	2,709/0,587
Разъединитель Ф№18-14	РЛНД-10/400	1	0,12/0,009
ТП 11-18-14 «Клуб» 10/0,4	ТМ-400/10	1	0,119/0,01

Мониторинг:

Цепь элементов ячейки №13;

$$M_{13,m} = 0,032 \cdot 2 + 0,028 \cdot 1 + 0,02 \cdot 2 + 0,06 \cdot 1 + 0,08 \cdot 1 + 0,09 \cdot 1 + 2,709 \cdot 1 + 0,12 \cdot 1 + 0,119 \cdot 1 = 3,258 \text{ откл/год};$$

Статистика:

Цепь элементов ячейки №13;

$$M_{13,cm} = 0,009 \cdot 2 + 0,01 \cdot 1 + 0,009 \cdot 2 + 0,009 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,587 \cdot 1 + 0,009 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 = 0,663 \text{ откл/год};$$

Таблица 11 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-18-14 «Клуб»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	3,258/0,663	2,595	1,8987	4,6173
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №11	0,032/0,009	0,023	0,0235	0,0405
Линейный выключатель яч №11	0,028/0,01	0,018	0,0186	0,0374
Разъединитель ввод 1Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,06/0,009	0,051	0,0107	0,1307
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,07	0,0572	0,2172
Выключатель ввод 1Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№18-14	2,709/0,587	2,122	1,5974	3,8206
Разъединитель Ф№18-14	0,12/0,009	0,111	0,0789	0,1611
ТП 11-18-14 «Клуб» 10/0,4	0,119/0,01	0,109	0,0619	0,1761

ТП 11-03-01 «Расцвет», в имеющейся схеме электроснабжения является ячейкой №6, запитанной от второй секции шин. Цепочка «источник питания – ТП 11-03-01» включает элементы сети и 10 кВ (таблица 12).

Таблица 12 – Элементы сети 10 кВ, ТП 11-03-01 «Расцвет»

Элемент сети	Тип оборудования	Длина, км количество, шт	ω, отказ/год при U 10 кВ
1	2	3	4
Линейный разъединитель яч №6	РВ-10/630	2	0,012/0,009
Линейный выключатель яч №6	ВМГ-10/1000	1	0,018/0,01
Разъединитель ввод 1Т-10	РВ – 10/630	2	0,02/0,009
Секционный разъединитель	РВЗ – 10/630	1	0,02/0,009
Секционный выключатель	ВМП-10/1000	1	0,08/0,01
Выключатель ввод 1Т-10	ВМГ-10/1000	1	0,09/0,01
ВЛ Ф№03-01	СИП (1×70)×3	1,548	0,279/0,061
Разъединитель Ф№03-01	РЛНД-10/400	1	0,02/0,009
ТП 11-03-01 «Расцвет» 10/0,4	ТМ-400/10	1	0,021/0,01

Мониторинг:

Цепь элементов ячейки №6;

$$M_{6.м} = 0,012 \cdot 2 + 0,07 \cdot 1 + 0,02 \cdot 2 + 0,02 \cdot 1 + 0,08 \cdot 1 + 0,09 \cdot 1 + 0,279 \cdot 1 + 0,02 \cdot 1 + 0,021 \cdot 1 = 0,561 \text{ откл/год};$$

Статистика:

Цепь элементов ячейки №6;

$$M_{6.ст} = 0,009 \cdot 2 + 0,01 \cdot 1 + 0,009 \cdot 2 + 0,009 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,061 \cdot 1 + 0,009 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 = 0,137 \text{ откл/год};$$

Таблица 13 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-03-01 «Расцвет»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с β = 0,95	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	0,561/0,137	0,424	0,3389	0,7831
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №6	0,012/0,009	0,003	0,0109	0,0131
Линейный выключатель яч №6	0,018/0,01	0,008	0,0138	0,0222
Разъединитель ввод 2Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,07	0,0572	0,2172
Выключатель ввод 2Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№03-01	0,279/0,061	0,218	0,1648	0,3932
Разъединитель Ф№03-01	0,02/0,009	0,011	0,0159	0,0241
ТП 11-03-01 «Расцвет» 10/0,4	0,021/0,01	0,011	0,0152	0,0268

Для остальных трансформаторных подстанций расчет проводим аналогично с помощью программы Microsoft Excel. Результаты расчета приведены ниже в таблицах 14 – 23.

ТП 11-18-12 «АВМ», в имеющейся схеме электроснабжения является ячейкой №13, запитанной от первой секции шин. Цепочка «источник питания – ТП 11-18-12» включает элементы 10 кВ (таблица 14).

Таблица 14 - Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-18-12 «АВМ»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	2,915/0,647	2,268	1,7269	4,1031
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №13	0,012/0,009	0,003	0,0109	0,0131
Линейный выключатель яч №13	0,018/0,01	0,008	0,0138	0,0222
Разъединитель ввод 1Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,07	0,0572	0,2172
Выключатель ввод 1Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№18-12	2,634/0,571	2,063	1,5533	3,7147
Разъединитель Ф№18-12	0,02/0,009	0,011	0,0159	0,0241
ТП 11-18-12 «АВМ» 10/0,4	0,019/0,01	0,011	0,0152	0,0268

Таблица 15 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-03-02 «Школа»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	0,611/0,147	0,464	0,3679	0,8541
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №12	0,012/0,009	0,003	0,0109	0,0131
Линейный выключатель яч №12	0,018/0,01	0,008	0,0138	0,0222
Разъединитель ввод 2Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,07	0,0572	0,2172
Выключатель ввод 2Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№03-02	0,329/0,071	0,258	0,1939	0,4641
Разъединитель Ф№03-02	0,02/0,009	0,011	0,0159	0,0241
ТП 11-03-02 «Магазин» 10/0,4	0,021/0,01	0,011	0,0152	0,0268

Таблица 16 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-03-41 «Полив»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	1,052/0,28	0,772	0,6476	1,4564
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №14	0,014/0,009	0,005	0,0121	0,0159
Линейный выключатель яч №14	0,018/0,01	0,008	0,0138	0,0222
Разъединитель ввод 2Т-10	0,022/0,009	0,013	0,0040	0,0400
Секционный разъединитель	0,019/0,009	0,01	0,0051	0,0329
Секционный выключатель	0,078/0,01	0,068	0,0553	0,2113
Выключатель ввод 2Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№03-41	0,581/0,204	0,377	0,3835	0,7785
Разъединитель Ф№03-41	0,02/0,009	0,011	0,0159	0,0241
ТП 11-03-41 «Полив» 10/0,4	0,21/0,01	0,2	0,1052	0,3148

Таблица 17 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-03-03 «Дет.сад»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	0,744/0,164	0,58	0,4402	1,0478
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №16	0,012/0,009	0,003	0,0109	0,0131
Линейный выключатель яч №16	0,018/0,01	0,008	0,0138	0,0222
Разъединитель ввод 2Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,071	0,0184	0,1784
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,068	0,0553	0,2113
Выключатель ввод 2Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№03-03	0,405/0,088	0,317	0,2389	0,5711
Разъединитель Ф№03-03	0,02/0,009	0,011	0,0159	0,0241
ТП 11-03-03 «Дет.сад» 10/0,4	0,021/0,01	0,011	0,0152	0,0268

Таблица 18 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-03-08 «Терентьев»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	0,708/0,173	0,535	0,4277	0,9883
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №20	0,012/0,009	0,003	0,0109	0,0131
Линейный выключатель яч №20	0,017/0,01	0,007	0,0133	0,0207

## Окончание таблицы 18

1	2	3	4	5
Разъединитель ввод 2Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,07	0,0572	0,2172
Выключатель ввод 2Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№03-08	0,447/0,0968	0,3502	0,2636	0,6304
Разъединитель Ф№03-08	0,01/0,009	0,001	0,0096	0,0104
ТП 11-03-08 «Терентьев» 10/0,4	0,012/0,01	0,002	0,0110	0,0130

Таблица 19 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-21-07 «Зерноток»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	2,401/0,535	1,866	1,4235	3,3785
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №24	0,012/0,009	0,003	0,0109	0,0131
Линейный выключатель яч №24	0,018/0,01	0,008	0,0138	0,0222
Разъединитель ввод 2Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,07	0,0572	0,2172
Выключатель ввод 2Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№21-07	2,118/0,459	1,659	1,2490	2,9870
Разъединитель Ф№21-07	0,02/0,009	0,011	0,0159	0,0241
ТП 11-21-07 «Зерноток» 10/0,4	0,021/0,01	0,011	0,0152	0,0268

Таблица 20 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-21-05 «Детский сад»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	4,003/1,601	2,402	2,7448	5,2612
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №18	0,012/0,009	0,003	0,0109	0,0131
Линейный выключатель яч №18	0,018/0,01	0,008	0,0138	0,0222
Разъединитель ввод 2Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,07	0,0572	0,2172
Выключатель ввод 2Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№21-05	3,422/1,525	1,897	2,4283	4,4157
Разъединитель Ф№21-05	0,02/0,009	0,011	0,0159	0,0241
ТП 11-21-05 «Детский сад» 10/0,4	0,021/0,01	0,011	0,0152	0,0268



Таблица 21 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-21-06 «Школа»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	2,55/0,567	1,983	1,5112	3,5888
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №22	0,012/0,009	0,003	0,0109	0,0131
Линейный выключатель яч №22	0,018/0,01	0,008	0,0138	0,0222
Разъединитель ввод 2Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,07	0,0572	0,2172
Выключатель ввод 2Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№21-06	2,269/0,491	1,778	1,3376	3,2004
Разъединитель Ф№21-06	0,02/0,009	0,011	0,0159	0,0241
ТП 11-21-06 «Школа» 10/0,4	0,021/0,01	0,011	0,0152	0,0268

Таблица 22 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания – ТП 11-21-37 «Байсалханов»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	2,555/0,571	1,984	1,5157	3,5943
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №26	0,012/0,009	0,003	0,0109	0,0131
Линейный выключатель яч №26	0,018/0,01	0,008	0,0138	0,0222
Разъединитель ввод 2Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,07	0,0572	0,2172
Выключатель ввод 2Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№21-37	2,284/0,495	1,789	1,3469	3,2211
Разъединитель Ф№21-37	0,02/0,009	0,011	0,0159	0,0241
ТП 11-21-37 «Байсалханов» 10/0,4	0,011/0,01	0,001	0,0105	0,0115

Таблица 23 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания – ТП 11-21-04 «КНС»

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	2,587/0,55	2,037	1,5200	3,6540
в том числе из-за отказов:				

Окончание таблицы 23

1	2	3	4	5
Линейный разъединитель яч №28	0,021/0,009	0,012	0,0166	0,0254
Линейный выключатель яч №28	0,027/0,01	0,017	0,0181	0,0359
Разъединитель ввод 2Т-10	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный разъединитель	0,02/0,009	0,011	0,0048	0,0352
Секционный выключатель	0,08/0,01	0,07	0,0572	0,2172
Выключатель ввод 2Т-10	0,09/0,01	0,08	0,0209	0,2009
ВЛ Ф№21-04	2,188/0,474	1,714	1,2902	3,0858
Разъединитель Ф№21-04	0,11/0,009	0,101	0,0726	0,1474
ТП 11-21-04 «КНС» 10/0,4	0,031/0,01	0,021	0,02	0,042

В результате проделанной работы для 14 трансформаторных подстанций, запитанных от ПС №11 «Искож 110\10» были рассчитаны показатели надежности цепи «источник питания – потребитель», такие как выборочное среднее количество отключений каждого элемента, среднеквадратичное их отклонение от статистических данных и доверительный интервал, с уровнем надежности 0,95.

Для дальнейшего анализа произведем расчет продолжительности внезапных отключений потребителя для одноименных объектов.

## 2.5 Расчет продолжительности внезапных отключений потребителей

Значение средней продолжительности одного внезапного отключения потребителя определялось как средневзвешенная длительность отключений, исходя из числа повреждений основных элементов цепи «источник – потребитель» [5]:

$$\tau = \frac{N_{ВЛ110} \cdot \tau_{ВЛ110} + N_{ЛР110} \cdot \tau_{ЛР110} + N_{СР110} \cdot \tau_{СР110} + N_{ОД110} \cdot \tau_{ОД110} + N_{КЗ110} \cdot \tau_{КЗ110} + N_{Т110} \cdot \tau_{Т110} + N_{ВВ10} \cdot \tau_{ВВ10} + N_{ВР10} \cdot \tau_{ВР10} + N_{ЛР10} \cdot \tau_{ЛР10} + N_{ЛВ10} \cdot \tau_{ЛВ10} + N_{СВ10} \cdot \tau_{СВ10} + N_{ВЛ10} \cdot \tau_{ВЛ10} + N_{Р10} \cdot \tau_{Р10} + N_{Т10} \cdot \tau_{Т10} + N_{ТП10} \cdot \tau_{ТП10}}{\sum N}, \quad (3)$$

где  $\tau$  – средние продолжительности внезапных отключений потребителя при повреждении соответственно на воздушной линии 110 кВ, линейном разъединителе 110 кВ, секционном разъединителе 110 кВ, отделителе 110 кВ, короткозамкатель 110 кВ, трансформаторе 110 кВ, вводном выключателе 10 кВ, вводном разъединителе 10 кВ, линейном разъединителе 10 кВ, линейном выключателе 10 кВ, секционном выключателе 10 кВ, воздушной линии 10 кВ, разъединителе 10 кВ, трансформаторе 10 кВ.

Произведем расчет продолжительности внезапных отключений потребителей участка РЭС-1 ПС №11 «Искож – 110/10 кВ» по методикам описанным выше, по формуле (3).

Величина продолжительности внезапных отключений для каждого из элементов цепочки «источник питания – потребитель» получена путем мониторинга сведений об отказах электрооборудования, зафиксированных в журналах учета данных по всем прекращением передачи электрической энергии, произошедших на объектах РЭС-1 за период 2011-2016 г.г. Эта величина складывается из затрат времени на переезды ОББ для локализации повреждений, выполнения пробного включения отключившегося элемента и деления цепи «источник питания – потребитель», а также из включения неповрежденных элементов цепи.

Также для расчета используются справочные материалы и статистические данные среднего времени восстановления элементов электрической сети, представленные в таблице 3.

Рассчитаем продолжительность внезапных отключений на ПС №11 «Искож – 110/10 кВ» для элементов сети 110 кВ ( ВЛ 110 кВ, разъединители линейный и секционный, отделитель, короткозамыкатель и трансформатор 110/10В):

Таблица 24 – Элементы сети 110 кВ, ПС №11 «Искож 110/10 кВ»

Элемент сети	Тип оборудования	Длина, км количество, шт	T <sub>в</sub> , ч при U 110 кВ
1	2	3	4
Двухцепная воздушная линия	ВЛ-110 С-90 (АС-185)	4,75	8,5/7
Двухцепная воздушная линия	ВЛ-110 С-339 (АС-185)	2,1	7,9/7
Секционный разъединитель	РДЗ-1-110/1000	2	7/3,5
Линейный разъединитель	РДЗ-2-110/1000	4	11,75/4,8
Отделитель	РГ-110/1000	2	4,6/3,5
Короткозамыкатель	КЗ-110	2	4,4/3,5
Трансформатор	ТРДН – 32000/110/10	2	72,7/70,1

Первая секция.

Мониторинг:

$$\tau_{ВН1} = \frac{8,5 \cdot 2 + 7 \cdot 1 + 11,75 \cdot 2 + 4,6 \cdot 1 + 4,4 \cdot 1 + 72,7 \cdot 1}{8} = 16,156 \text{ ч};$$

Статистика:

$$\tau_{BH1} = \frac{7 \cdot 2 + 3,5 \cdot 1 + 4,8 \cdot 2 + 3,5 \cdot 1 + 3,5 \cdot 1 + 70,1 \cdot 1}{8} = 13,025 \text{ ч;}$$

Вторая секция.

Мониторинг для второй секции:

$$\tau_{BH2} = \frac{7,9 \cdot 2 + 7 \cdot 1 + 11,75 \cdot 2 + 4,6 \cdot 1 + 4,4 \cdot 1 + 72,7 \cdot 1}{7} = 16,001$$

Статистика для второй секции:

$$\tau_{BH2} = \frac{7 \cdot 2 + 3,5 \cdot 1 + 4,8 \cdot 2 + 3,5 \cdot 1 + 3,5 \cdot 1 + 70,1 \cdot 1}{8} = 13,025 \text{ ч;}$$

Полученные результаты сведем в итоговую таблицу 25. В таблицу заносим средние значения для элементов.

Таблица 25 – Результаты расчета показателей надежности системы электроснабжения, элементы сети 110 кВ

Параметр	Выборочное среднее М	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для М с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	16,614/13,385	3,229	15,0318	18,1962
в том числе из-за отказов:				
ЛЭП 110 кВ	8,2/7	1,2	6,5369	8,3600
Линейного разъединителя 110 кВ	7/3,5	3,5	2,1492	7,4668
Секционного разъединителя 110 кВ	11,75/4,8	6,95	4,9390	18,5610
Отделителя 110 кВ	4,6/3,5	1,1	3,0755	6,1245
Короткозамыкателя	4,4/3,5	0,9	3,1527	5,6473
Трансформатора 110/10 кВ	72,7/70,1	2,6	69,0966	76,3034

Рассчитаем продолжительность внезапных отключений для элементов сети 10 кВ.

Расчет проводим для 14 трансформаторных подстанций, перечисленных выше в таблице 1.

При расчете показателей надежности для каждой из рассматриваемых трансформаторных подстанций учитываем продолжительность внезапных отключений в элементах сети 110 кВ.

ТП 11-18-16 «Научный корпус», в имеющейся схеме электроснабжения является ячейкой №3, запитанной от первой секции шин. Цепочка «источник питания – ТП 11-18-16» включает элементы сети 10 кВ (таблица 26).

Таблица 26 – Элементы сети 10 кВ, ТП 11-18-16 «Научный корпус»

Элемент сети	Тип оборудования	Длина, км количество, шт	T <sub>в</sub> , ч при U 10 кВ
1	2	3	4
Линейный разъединитель яч №3	РВ-10/630	2	5,6/4,8
Линейный выключатель яч №3	ВМГ-10/1000	1	11,6/10,5
Разъединитель ввод 1Т-10	РВ – 10/630	2	4,85/4,15
Секционный разъединитель	РВЗ – 10/630	1	4,51/3,5
Секционный выключатель	ВМП-10/1000	1	9,85/8,76
Выключатель ввод 1Т-10	ВМГ-10/1000	1	11,3/9,63
ВЛ Ф№18-16	АС-70	14,174	7,3/5
Разъединитель Ф№18-16	РЛНД-10/400	1	4,85/4,15
ТП 11-18-16 «Научный корпус»	ТМ-400/10	1	54,3/50

Мониторинг:

Цепь элементов ячейки №3;

$$M_{3,m} = \frac{5,6 \cdot 2 + 11,6 \cdot 1 + 4,85 \cdot 2 + 4,51 \cdot 1 + 9,85 \cdot 1 + 11,3 \cdot 1 + 7,3 \cdot 1 +$$

$$\frac{+4,85 \cdot 1 + 54,3 \cdot 1}{14} = 11,672 \text{ ч;}$$

Статистика:

Цепь элементов ячейки №3;

$$M_{3,cm} = \frac{4,8 \cdot 2 + 10,5 \cdot 1 + 4,15 \cdot 2 + 3,5 \cdot 1 + 8,76 \cdot 1 + 9,63 \cdot 1 + 5 \cdot 1 + 4,15 \cdot$$

$$\frac{\cdot 1 + 50 \cdot 1}{14} = 9,949 \text{ ч;}$$

Результаты расчета представляем в виде таблицы 27.

Таблица 27 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-18-16 «Научный корпус»

Параметр	Выборочное среднее M	Сред. квадр. отклонение S	Доверит. интервал для M с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей,	11,672/9,949	1,723	10,769	12,574
в том числе из-за отказов:				

Окончание таблицы 27

1	2	3	4	5
Линейный разъединитель яч №3	5,6/4,8	1,6	10,362	12,038
Линейный выключатель яч №3	11,6/10,5	1,1	11,024	12,176
Разъединитель ввод 1Т-10	4,85/4,15	1,4	8,967	10,433
Секционный разъединитель	4,51/3,5	1,01	3,981	5,039
Секционный выключатель	9,85/8,76	1,09	9,279	10,421
Выключатель ввод 1Т-10	11,08/9,63	1,45	10,320	11,840
ВЛ Ф№18-16	11,3/5	6,3	8,000	14,600
Разъединитель Ф№18-16	4,85/4,15	0,7	4,483	5,217
ТП 11-18-16 «Научный корпус» 10/0,4	54,3/50	4,3	52,048	56,552

ТП 11-03-01 «Расцвет», в имеющейся схеме электроснабжения является ячейкой №6, запитанной от второй секции шин. Цепочка «источник питания – ТП 11-03-01» включает элементы сети 10 кВ (таблица 28).

Таблица 28 – Элементы сети 10 кВ, ТП 11-03-01 «Расцвет»

Элемент сети	Тип оборудования	Длина, км количество, шт	T <sub>в</sub> , ч при U 10 кВ
1	2	3	4
Линейный разъединитель яч №6	РВ-10/630	2	5,21/4,8
Линейный выключатель яч №6	ВМГ-10/1000	1	10,8/10,5
Разъединитель ввод 1Т-10	РВ – 10/630	2	4,47/4,15
Секционный разъединитель	РВЗ – 10/630	1	3,84/3,5
Секционный выключатель	ВМП-10/1000	1	9,12/8,76
Выключатель ввод 1Т-10	ВМГ-10/1000	1	10,04/9,63
ВЛ Ф№03-01	СИП (1×70)×3	1,548	5,98/5
Разъединитель Ф№03-01	РЛНД-10/400	1	4,39/4,15
ТП 11-03-01 «Расцвет» 10/0,4	ТМ-400/10	1	50,99/50

Мониторинг:

Цепь элементов ячейки №6;

$$M_{6.м} = \frac{5,21 \cdot 2 + 10,8 \cdot 1 + 4,47 \cdot 2 + 3,84 \cdot 1 + 9,12 \cdot 1 + 10,04 \cdot 1 + 5,98 \cdot 1 +$$

$$\frac{+4,39 \cdot 1 + 50,99 \cdot 1}{14} = 10,415 \text{ ч;}$$

Статистика:

Цепь элементов ячейки №6;

$$M_{6.ст} = \frac{4,8 \cdot 2 + 10,5 \cdot 1 + 4,15 \cdot 2 + 3,5 \cdot 1 + 8,76 \cdot 1 + 9,63 \cdot 1 + 5 \cdot 1 + 4,15 \cdot$$

$$\frac{\cdot 1 + 50 \cdot 1}{14} = 9,949 \text{ ч};$$

Таблица 29 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-03-01 «Расцвет»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	10,414/9,949	0,465	10,1395	10,6896
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №6	5,21/4,8	0,340	10,1736	11,5064
Линейный выключатель яч №6	10,8/10,5	0,640	8,0530	9,8270
Разъединитель ввод 2Т-10	4,47/4,15	0,340	3,1736	4,5064
Секционный разъединитель	3,84/3,5	0,360	8,4144	9,8256
Секционный выключатель	9,12/8,76	0,410	9,2364	10,8436
Выключатель ввод 2Т-10	10,04/9,63	0,980	4,0592	7,9008
ВЛ Ф№03-01	5,98/5	0,240	3,9196	4,8604
Разъединитель Ф№03-01	4,39/4,15	0,990	49,0496	52,9304

Для остальных трансформаторных подстанций расчет проводим аналогично с помощью программы Microsoft Excel. Результаты расчета приведены ниже в таблицах 30 – 42.

Таблица 30 - Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-18-20 «РТМ»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	15,271/9,949	5,32	12,1259	18,4159
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №5	10,4/4,8	5,6	13,1665	19,0335
Линейный выключатель яч №5	16,1/10,5	11,2	13,6331	25,3669
Разъединитель ввод 1Т-10	9,75/4,15	5,6	6,1665	12,0335
Секционный разъединитель	9,1/3,5	4,56	10,9313	22,2576
Секционный выключатель	13,32/8,76	5,58	12,2870	26,1468
Выключатель ввод 1Т-10	15,21/9,63	4,6	7,1904	12,0096
ВЛ Ф№18-20	9,6/5	5,6	6,8165	12,6835
Разъединитель Ф№18-20	9,75/4,15	4,6	52,1904	57,0096
ТП 11-18-20 «РТМ» 10/0,4	54,6/50	11,2	14,9331	26,6669

Таблица 31 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-18-14 «Клуб»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	16,721/9,949	6,77	12,7194	20,7242
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №11	11,9/4,8	14,2	16,3616	31,2384
Линейный выключатель яч №11	17,6/10,5	7,1	13,8808	21,3192
Разъединитель ввод 1Т-10	11,15/4,15	14	14,9664	29,6336
Секционный разъединитель	10,9/3,5	7,40	7,0236	14,7764
Секционный выключатель	14,82/8,76	6,06	11,6456	17,9944
Выключатель ввод 1Т-10	16,07/9,63	6,44	12,6965	19,4435
ВЛ Ф№18-14	12,1/5	7,10	8,3808	15,8192
Разъединитель Ф№18-14	11,15/4,15	7,00	7,4832	14,8168
ТП 11-18-14 «Клуб» 10/0,4	55,2/50	5,20	52,4761	57,9239

Таблица 31 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-18-12 «АВМ»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	11,155/9,949	1,21	10,4422	11,8669
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №13	5,72/4,8	14,2	16,3616	31,2384
Линейный выключатель яч №13	11,72/10,5	7,1	13,8808	21,3192
Разъединитель ввод 1Т-10	4,97/4,15	14	14,9664	29,6336
Секционный разъединитель	4,53/3,5	7,4	7,0236	14,7764
Секционный выключатель	9,97/8,76	6,06	11,6456	17,9944
Выключатель ввод 1Т-10	11,2/9,63	6,44	12,6965	19,4435
ВЛ Ф№18-12	7,51/5	7,1	8,3808	15,8192
Разъединитель Ф№18-12	4,97/4,15	7	7,4832	14,8168
ТП 11-18-12 «АВМ» 10/0,4	51,42/50	5,2	52,4761	57,9239

Таблица 32 - Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-03-02 «Школа»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	10,5/9,949	0,55	10,174	10,826



Окончание таблицы 32

1	2	3	4	5
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №12	5,27/4,8	0,94	9,237	11,843
Линейный выключатель яч №12	10,86/10,5	0,36	10,154	11,566
Разъединитель ввод 2Т-10	4,49/4,15	0,68	8,038	9,922
Секционный разъединитель	3,86/3,5	0,36	3,154	4,566
Секционный выключатель	9,16/8,76	0,40	8,376	9,944
Выключатель ввод 2Т-10	10,36/9,63	0,73	8,929	11,791
ВЛ Ф№03-02	6,01/5	1,01	4,030	7,990
Разъединитель Ф№03-02	4,63/4,15	0,48	3,689	5,571
ТП 11-03-02 «Магазин» 10/0,4	51,1/50	1,10	48,944	53,256

Таблица 33 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-03-41 «Полив»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	10,691/9,949	0,74	10,2525	11,1293
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №14	5,46/4,8	1,32	10,229	12,749
Линейный выключатель яч №14	10,91/10,5	0,41	10,106	11,714
Разъединитель ввод 2Т-10	4,78/4,15	1,26	7,814	11,306
Секционный разъединитель	3,94/3,5	0,44	3,078	4,802
Секционный выключатель	9,32/8,76	0,56	8,222	10,418
Выключатель ввод 2Т-10	10,94/9,63	1,31	8,372	13,508
ВЛ Ф№03-41	6,13/5	1,13	3,915	8,345
Разъединитель Ф№03-41	4,74/4,15	0,59	3,584	5,896
ТП 11-03-41 «Полив» 10/0,4	51,14/50	1,14	48,906	53,374

Таблица 34 - Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-03-03 «Дет.сад»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	12,151/9,949	2,21	10,8497	13,4521
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №16	6,9/4,8	4,2	7,9791	19,6209
Линейный выключатель яч №16	12,81/10,5	2,31	8,2824	17,3376
Разъединитель ввод 2Т-10	6,15/4,15	4	6,7563	17,8437
Секционный разъединитель	5,6/3,5	2,1	1,4840	9,716
Секционный выключатель	10,53/8,76	1,77	7,0608	13,9992

Окончание таблицы 34

1	2	3	4	5
Выключатель ввод 2Т-10	11,97/9,63	2,34	7,3836	16,5564
ВЛ Ф№03-03	7,8/5	2,8	2,312	13,288
Разъединитель Ф№03-03	6,15/4,15	2	2,23	10,07
ТП 11-03-03 «Полив» 10/0,4	52,7/50	2,7	47,408	57,992

Таблица 35 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания – ТП11-03-08 «Терентьев»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	11,923/9,949	1,97	11,1917	12,6538
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №20	6,7/4,8	1,81	11,362	13,258
Линейный выключатель яч №20	12,31/10,5	4,5	10,443	15,157
Разъединитель ввод 2Т-10	6,4/4,15	1,6	4,262	5,938
Секционный разъединитель	5,1/3,5	1,79	9,612	11,488
Секционный выключатель	10,55/8,76	1,8	10,487	12,373
Выключатель ввод 2Т-10	11,43/9,63	1,81	5,862	7,758
ВЛ Ф№03-08	6,81/5	1,8	5,007	6,893
Разъединитель Ф№03-08	5,95/4,15	2,8	51,333	54,267
ТП 11-03-08 «Терентьев» 10/0,4	52,8/50	1,81	11,362	13,258

Таблица 36 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания – ТП11-21-07 «Зерноток»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	28,43/23,334	1,87	11,1247	12,5080
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №24	6,7/4,8	3,8	11,4094	15,3906
Линейный выключатель яч №24	12,4/10,5	1,9	11,4047	13,3953
Разъединитель ввод 2Т-10	6,05/4,15	3,8	10,1094	14,0906
Секционный разъединитель	5,3/3,5	1,8	4,3571	6,2429
Секционный выключатель	10,33/8,76	1,57	9,5076	11,1524
Выключатель ввод 2Т-10	11,5/9,63	1,87	10,5204	12,4796
ВЛ Ф№21-07	6,8/5	1,8	5,8571	7,7429
Разъединитель Ф№21-07	6,05/4,15	1,9	5,0547	7,0453
ТП 11-21-07 «Зерноток» 10/0,4	52,1/50	2,1	51,0000	53,2000

ТП 11-21-05 «Детский сад», в является ячейкой № 20, запитанной от второй секции шин. Цепочка «источник питания – ТП 11-21-05» включает элементы сети 110 кВ и 10 кВ (таблица 37).

Таблица 37 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания – ТП11-21-05 «Детский сад»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	16,737/9,949	6,79	14,2229	19,2517
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №18	11,7/4,8	13,8	4,274	30,629
Линейный выключатель яч №18	16,98/10,5	6,48	13,586	20,374
Разъединитель ввод 2Т-10	11,15/4,15	14	14,966	29,634
Секционный разъединитель	10,3/3,5	6,8	6,738	13,862
Секционный выключатель	15,67/8,76	6,91	12,050	19,290
Выключатель ввод 2Т-10	16,61/9,63	6,98	12,954	20,266
ВЛ Ф№21-05	11,8/5	6,8	8,238	15,362
Разъединитель Ф№21-05	10,65/4,15	6,5	7,245	14,055
ТП 11-21-05 «Детский сад» 10/0,4	56,4/50	6,4	53,047	59,753

Таблица 38 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания - ТП11-21-06 «Школа»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	18,968/9,949	9,02	15,6275	22,3089
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №22	12,43/4,8	15,26	16,866	32,854
Линейный выключатель яч №22	19,4/10,5	8,9	14,738	24,062
Разъединитель ввод 2Т-10	14,15/4,15	20	17,823	38,777
Секционный разъединитель	11,3/3,5	7,8	7,214	15,386
Секционный выключатель	18,76/8,76	10	13,522	23,998
Выключатель ввод 2Т-10	19,63/9,63	10	14,392	24,868
ВЛ Ф№21-06	16,1/5	11,1	10,285	21,915
Разъединитель Ф№21-06	12,3/4,15	8,15	8,031	16,569
ТП 11-21-06 «Школа» 10/0,4	58/50	8	53,809	62,191

ТП11-21-37 «Байсалханов», является ячейкой № 24, запитанной от второй секции шин. Цепочка «источник питания – ТП 11-21-05» включает элементы сети 110 кВ и 10 кВ (таблица 37).

Таблица 39 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания – ТП11-21-37 «Байсалханов»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	17,385/9,949	7,44	14,6310	20,1399
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №26	12,4/4,8	15,2	16,838	32,762
Линейный выключатель яч №26	17,5/10,5	7	13,833	21,167
Разъединитель ввод 2Т-10	12,15/4,15	16	15,919	32,681
Секционный разъединитель	10,8/3,5	7,3	6,976	14,624
Секционный выключатель	15,67/8,76	6,91	12,050	19,290
Выключатель ввод 2Т-10	17,42/9,63	7,79	13,339	21,501
ВЛ Ф№21-37	12,4/5	7,4	8,524	16,276
Разъединитель Ф№21-37	11,15/4,15	7	7,483	14,817
ТП 11-21-37 «Байсалханов» 10/0,4	57,2/50	7,2	53,428	60,972

Таблица 40 – Результаты расчета показателей надежности цепи элементов «источник питания – ТП11-21-04 «КНС»

Параметр	Выборочное среднее $M$	Сред. квадр. отклонение $S$	Доверит. интервал для $M$ с $\beta = 0,95$	
			4	5
1	2	3	4	5
Средняя продолжительность одного внезапного отключений потребителей, ч	17,083/9,949	7,13	14,4404	19,7251
в том числе из-за отказов:				
Линейный разъединитель яч №28	12,8/4,8	5,95	13,333	19,567
Линейный выключатель яч №28	16,45/10,5	16,12	15,976	32,864
Разъединитель ввод 2Т-10	12,21/4,15	6,3	6,500	13,100
Секционный разъединитель	9,8/3,5	5,54	11,398	17,202
Секционный выключатель	14,3/8,76	6,21	12,587	19,093
Выключатель ввод 2Т-10	15,84/9,63	8,5	9,047	17,953
ВЛ Ф№21-04	13,5/5	7,75	7,840	15,960
Разъединитель Ф№21-04	11,9/4,15	6,1	52,905	59,295
ТП 11-21-04 «КНС» 10/0,4	56,1/50	5,95	13,333	19,567

В результате проделанной работы для 14 трансформаторных подстанций, запитанных от ПС №11 «Искож 110\10» была рассчитана средняя продолжительность внезапного отключения каждого из элементов сети 110 и 10 кВ для цепи «источник питания – потребитель».

Далее по итогам проделанного анализа построим диаграммы для основных показателей надежности.

## 2.6 Диаграммы результатов расчета количества внезапных отключений и среднего времени восстановления элементов сети

### 2.6.1 Диаграммы результатов расчета количества внезапных отключений

Для анализируемой схемы электроснабжения ПС №11 «Искож 110/10» в электрических сетях производственной базы РЭС-1 было рассчитано среднее количество внезапных отключений за период 2011-2016 г.г. для четырнадцати трансформаторных подстанций (таблицы 24-40).

Результаты представлены в виде диаграммы распределения количества отключений по трансформаторным подстанциям на рисунке 5.

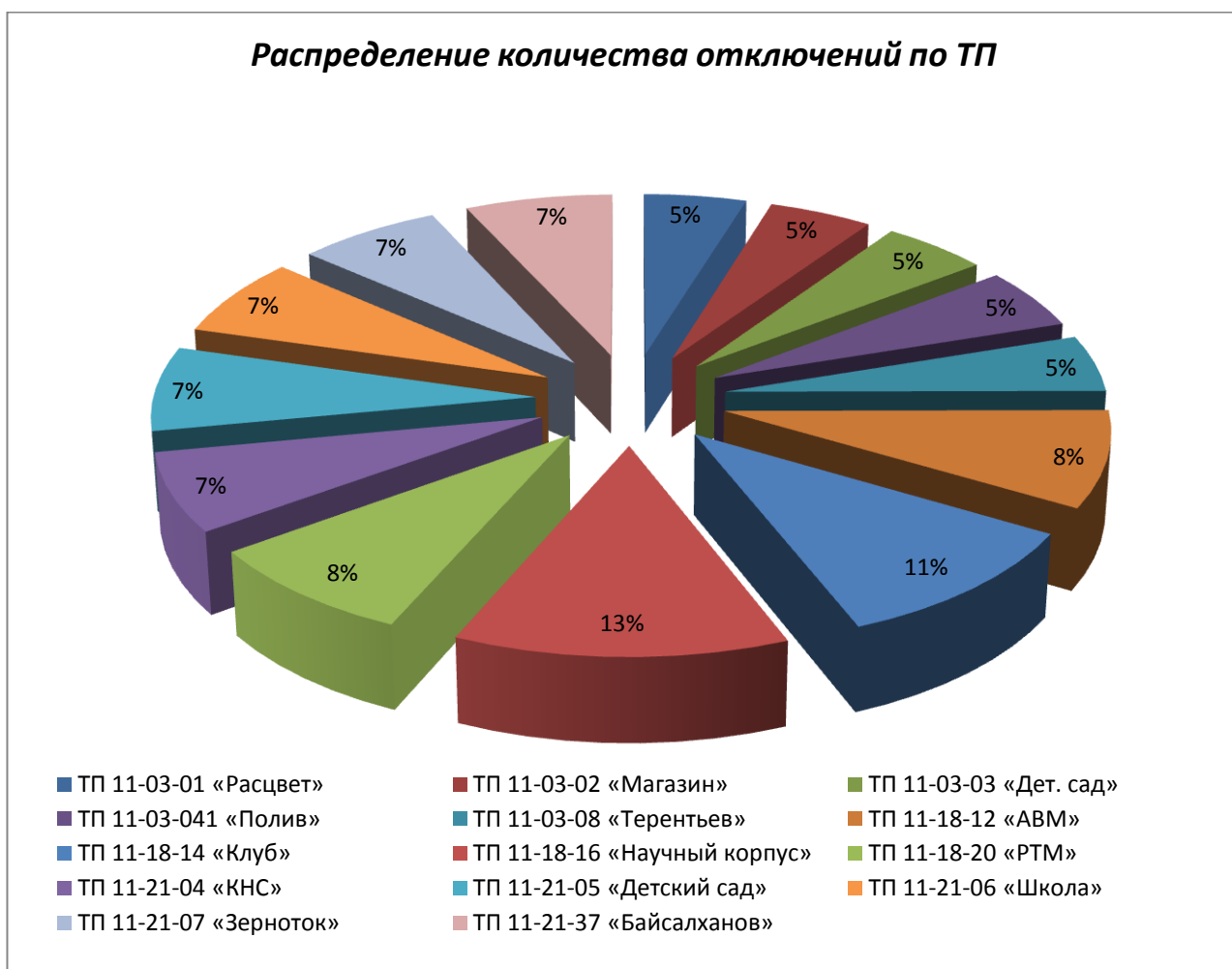


Рисунок 5 – Диаграмма распределения количества внезапных отключений по трансформаторным подстанциям

Исходя из полученной диаграммы видно, что все подстанции имеют достаточный процент внезапных отключений потребителей, но особого внимания требуют:

- ТП 11-18-16 «Научный корпус» - 13%;
- ТП 11-18-14 «Клуб» - 11%;

- ТП 11-18-12 «АВМ» - 8%;
- ТП 11-18-20 «РТМ» - 8%.

На рисунке 6 представлено отклонение фактического количества отказов от среднестатистического (таблицы 4-23). В данном аспекте также выделяются ТП 11-18-12, ТП 11-18-14, ТП 11-18-16 и ТП 11-18-20.

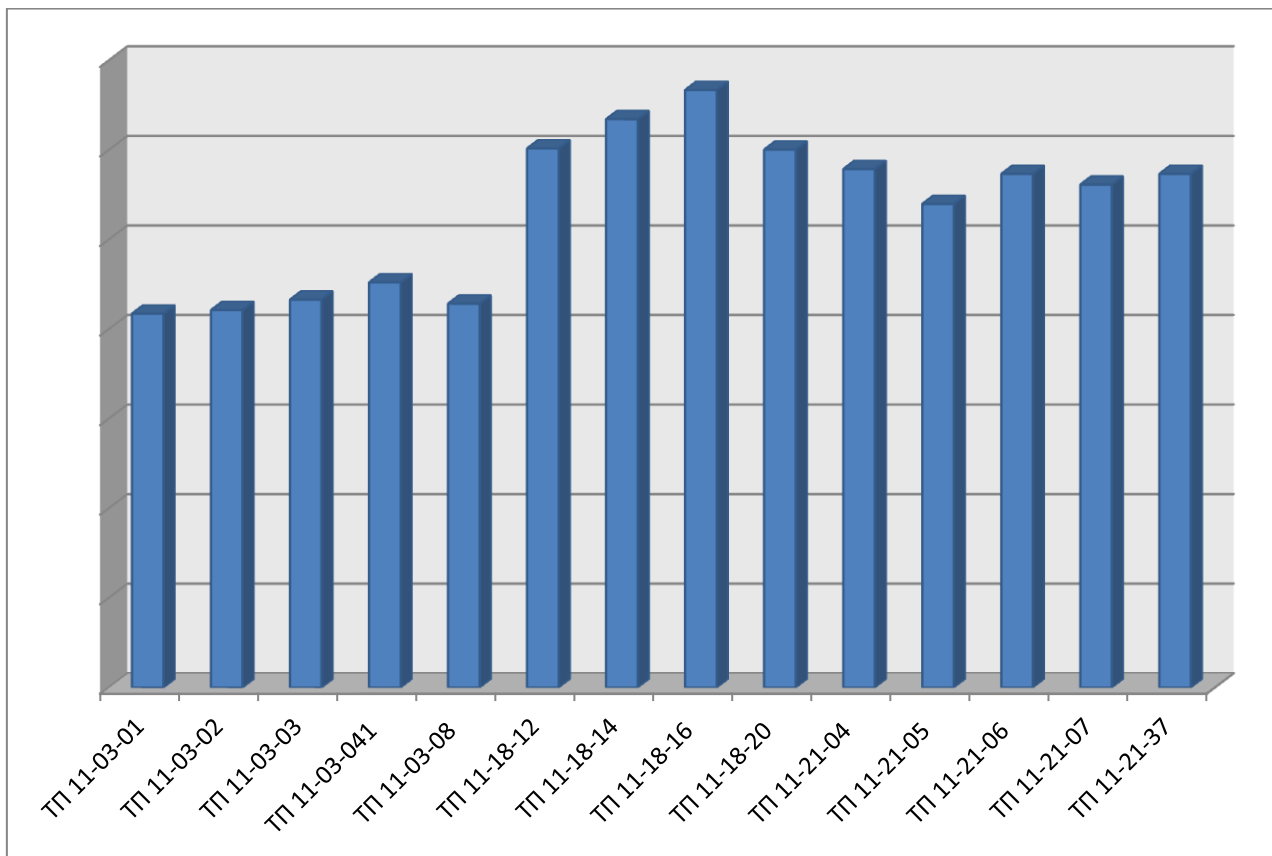


Рисунок 6 – Отклонение фактического показателя потокоотказа от среднестатистического

В данном аспекте также выделяются ТП 11-18-12, ТП 11-18-14, ТП 11-18-16 и ТП 11-18-20.

Для более детального анализа представим диаграммы распределения количества отключений по элементам цепи «источник – потребитель» из-за повреждений (рисунки 7-10):

- $N_{110}$  – на элементах сети 110 кВ;
- $N_{ВВ.10}$  – на вводном выключателе 10 кВ;
- $N_{ВР.10}$  – на вводном разъединителе 10 кВ;
- $N_{ЛР.10}$  – на линейном разъединителе 10 кВ;
- $N_{ЛВ.10}$  – на линейном выключателе 10 кВ;
- $N_{СВ.10}$  – на секционном выключателе 10 кВ;
- $N_{ВЛ.10}$  – на питающей потребителя ВЛ 10 кВ;
- $N_{Р.10}$  – на разъединителе 10 кВ;
- $N_{ТП.10}$  – в ТП 10/0,4 кВ, к которой подключен потребитель.

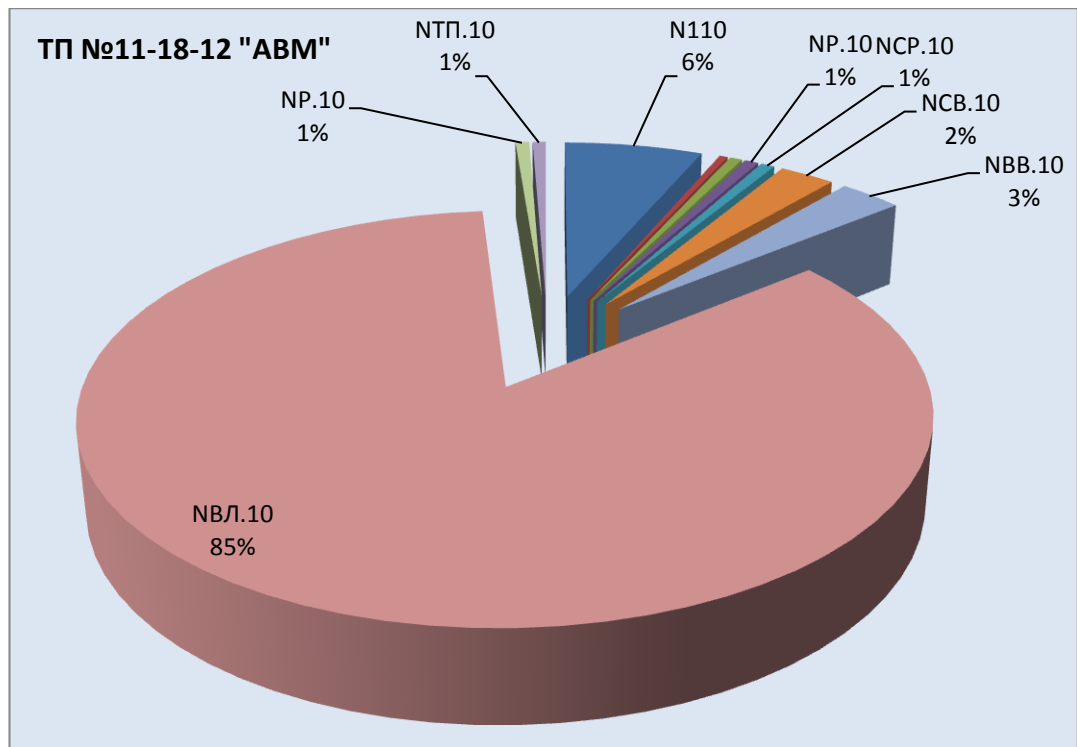


Рисунок 7 – Диаграмма распределения количества отключений по элементам цепи «источник – ТП № 11-18-12»

На долю отключений из-за повреждений на ВЛ 10 кВ приходится 85 % от общего числа отключений.

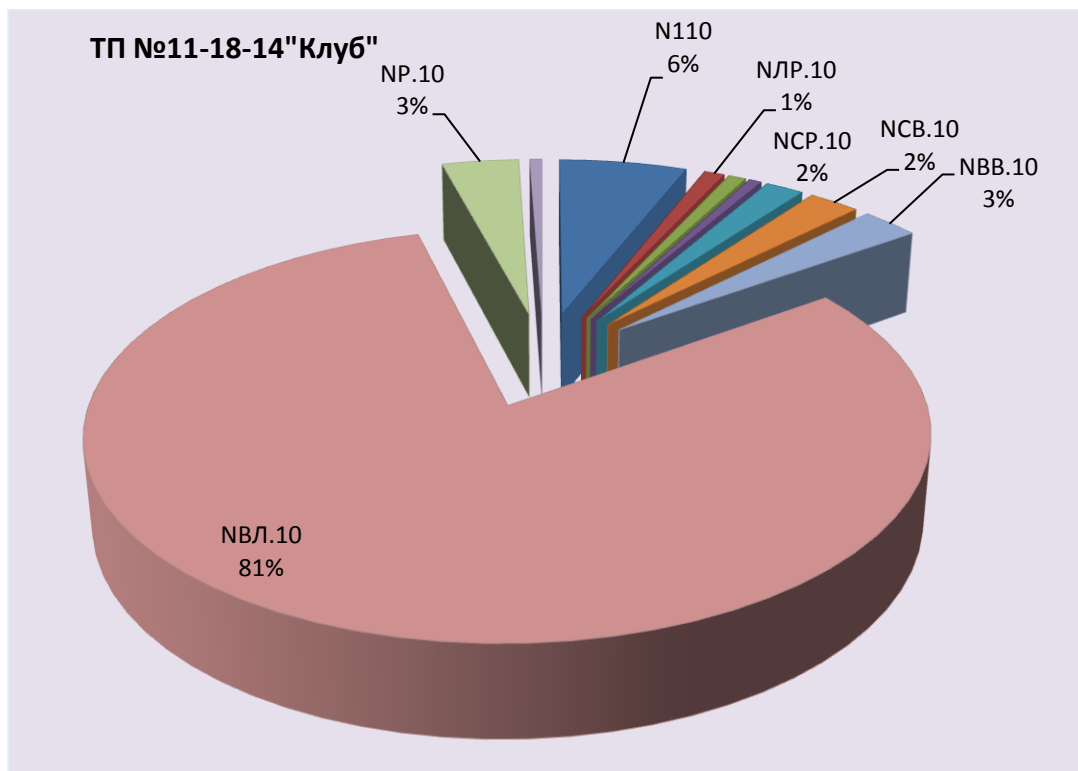


Рисунок 8 – Диаграмма распределения количества отключений по элементам цепи «источник – ТП № 11-18-14»

На долю отключений из-за повреждений на ВЛ 10 кВ приходится 81 % от общего числа отключений.

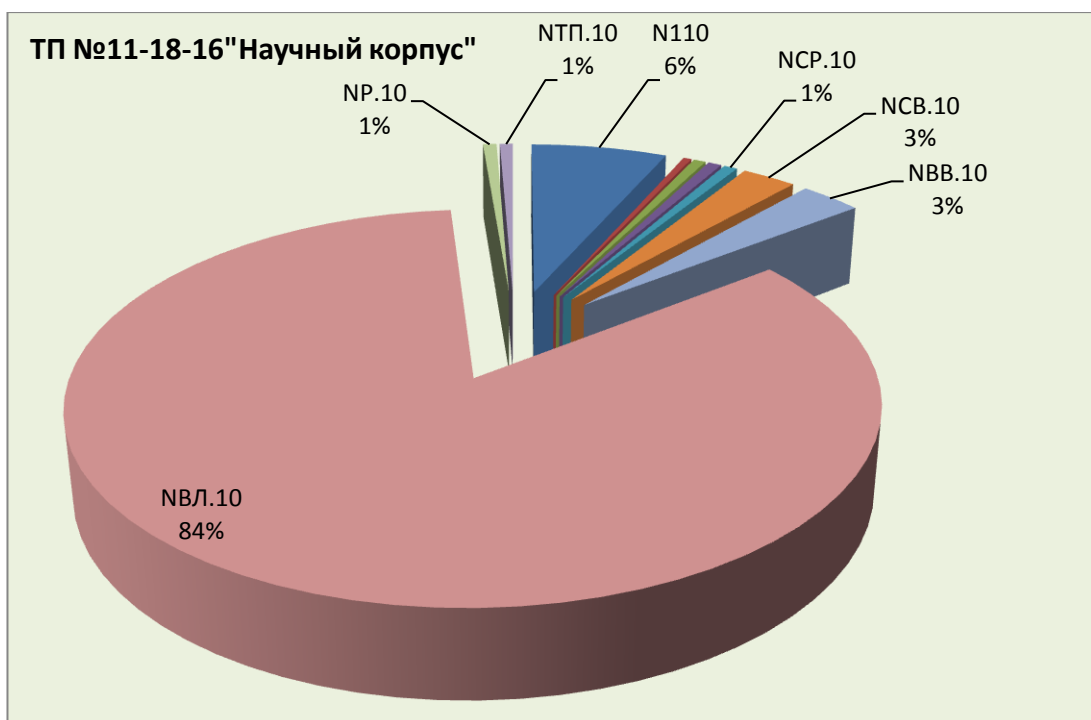


Рисунок 9 – Диаграмма распределения количества отключений по элементам цепи «источник – ТП № 11-18-16»

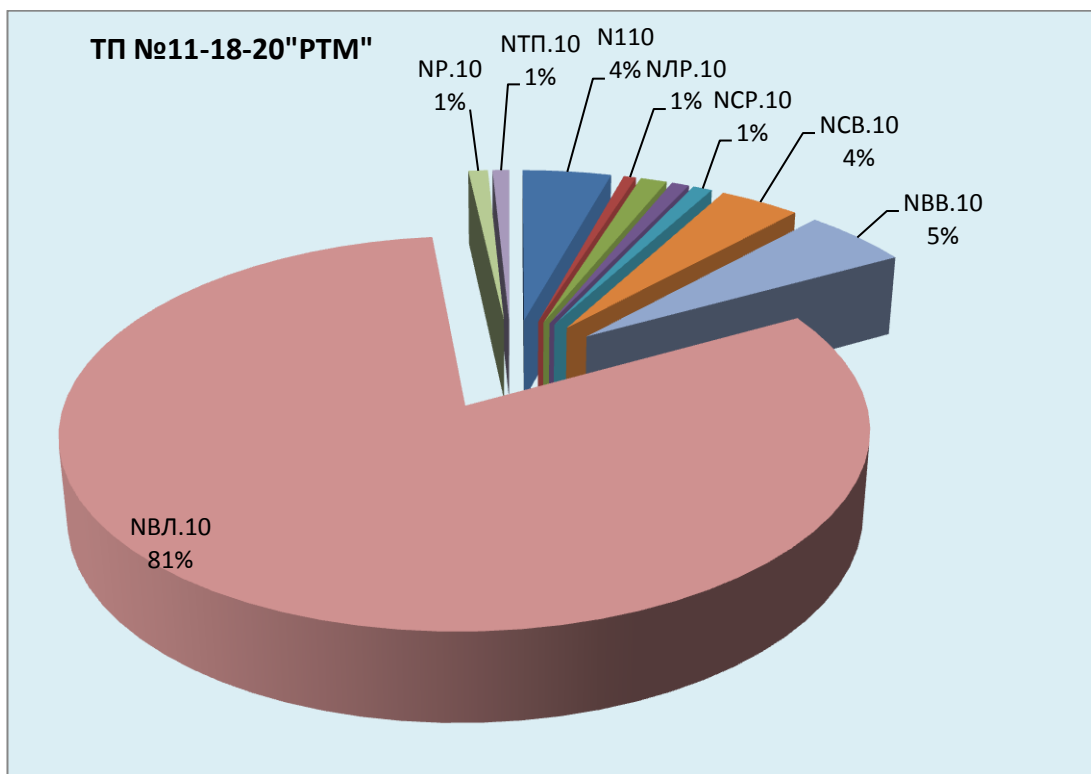


Рисунок 10 – Диаграмма распределения количества отключений по элементам цепи «источник – ТП № 11-18-20»



Согласно диаграммам, самыми ненадежным элементом цепи «источник питания – потребитель» является ВЛ 10 кВ.

На рисунке 11 представлена диаграмма распределения количества отключений по элементам сети 110 кВ.

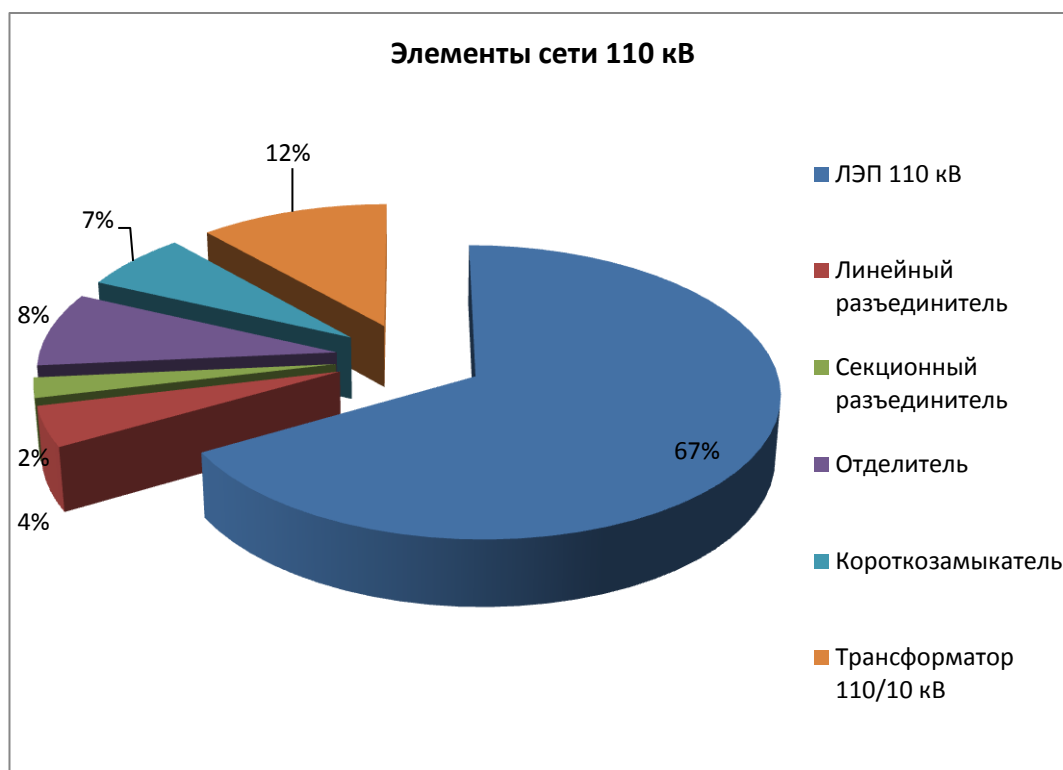


Рисунок 11 – Диаграмма распределения количества отключений по элементам сети 110 кВ

Согласно диаграмме, самым ненадежным элементом сети 110 кВ является понижающий трансформатор 110/10 кВ. Среднее количество отключений составляет 5, 706 откл./год (2Т) и 2, 606 откл./год (1Т), что составляет 93 % от общего числа отключений в сети 110 кВ.

Для более подробного анализа представим диаграммы результатов расчета среднего времени восстановления.

### 2.6.2 Диаграммы результатов расчета среднего времени восстановления

Для анализируемой схемы электроснабжения ПС №11 «Искож 110/10» в электрических сетях производственной базы РЭС-1 было рассчитано среднее время восстановления одного отключения за период 2011-2016 г.г. для четырнадцати трансформаторных подстанций (таблицы 4-23).

Результаты представлены в виде диаграммы распределения продолжительности отключений по трансформаторным подстанциям на рисунке 12.

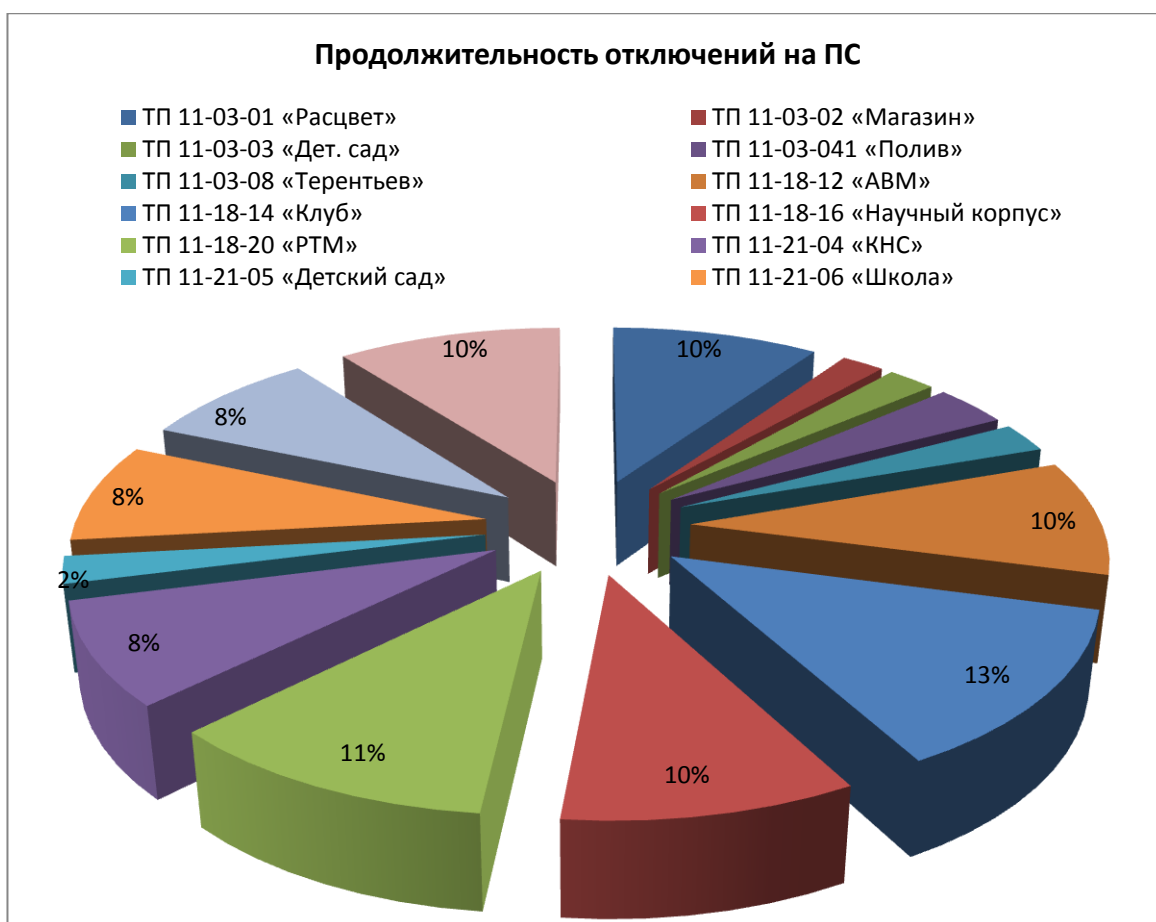


Рисунок 12 – Диаграмма распределения продолжительности отключений по трансформаторным подстанциям

Исходя из полученной диаграммы видно, что наиболее продолжительные отключения были у потребителей, запитанных от трансформаторных подстанций:

- ТП 11-18-16 «Научный корпус» - 10%;
- ТП 11-18-14 «Клуб» - 13%;
- ТП 11-18-12 «АВМ» - 10%;
- ТП 11-18-20 «РТМ» - 11%.

При этом время отключений составило 80, 108, 79 и 92 часов соответственно.

На рисунке 10 представлено отклонение фактического среднего времени восстановления от среднестатистического (таблицы 24-40). При анализе данного показателя наибольшая доля отклонения также пришлась на ТП 11-18-12, ТП 11-18-14, ТП 11-18-16 и ТП 11-18-20.

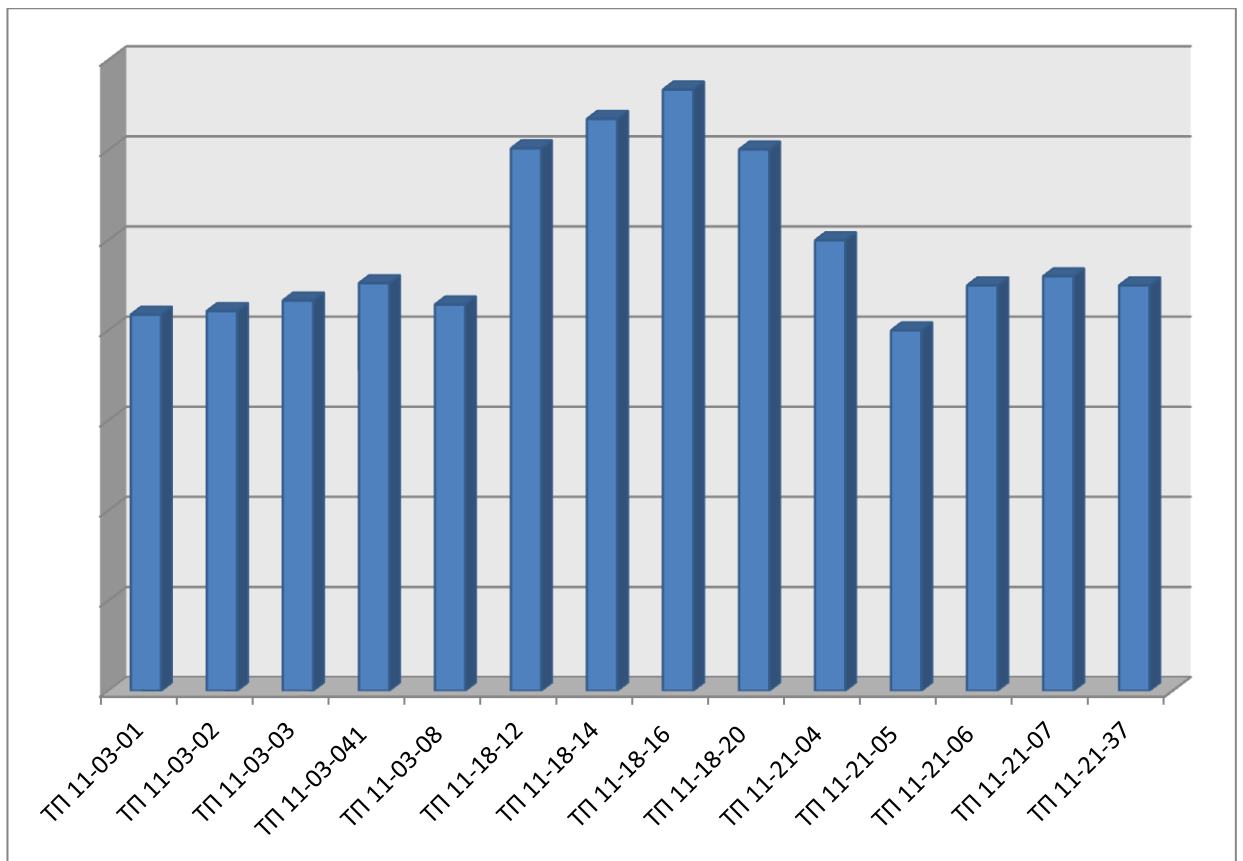


Рисунок 13 – Отклонение фактического среднего времени восстановления от среднестатистического

Для выявления элементов из-за отказов которых происходят наиболее длительные перерывы в поставке электроэнергии, рассмотрим каждую из выделенных выше подстанций.

Представим диаграммы распределения средней времени восстановления по элементам цепи «источник – потребитель» из-за повреждений (рисунки 14 - 17):

- $N_{110}$  – на элементах сети 110 кВ;
- $N_{ВВ.10}$  – на вводном выключателе 10 кВ;
- $N_{ВР.10}$  – на вводном разъединителе 10 кВ;
- $N_{ЛР.10}$  – на линейном разъединителе 10 кВ;
- $N_{ЛВ.10}$  – на линейном выключателе 10 кВ;
- $N_{СВ.10}$  – на секционном выключателе 10 кВ;
- $N_{ВЛ.10}$  – на питающей потребителя ВЛ 10 кВ;
- $N_{Р.10}$  – на разъединителе 10 кВ;
- $N_{ТП.10}$  – в ТП 10/0,4 кВ, к которой подключен потребитель.

ТП 11-18-12 «АВМ», является ячейкой № 15, запитанной от первой секции шин. Цепочка «источник питания – ТП 11-21-05» включает элементы сети 110 кВ и 10 кВ.

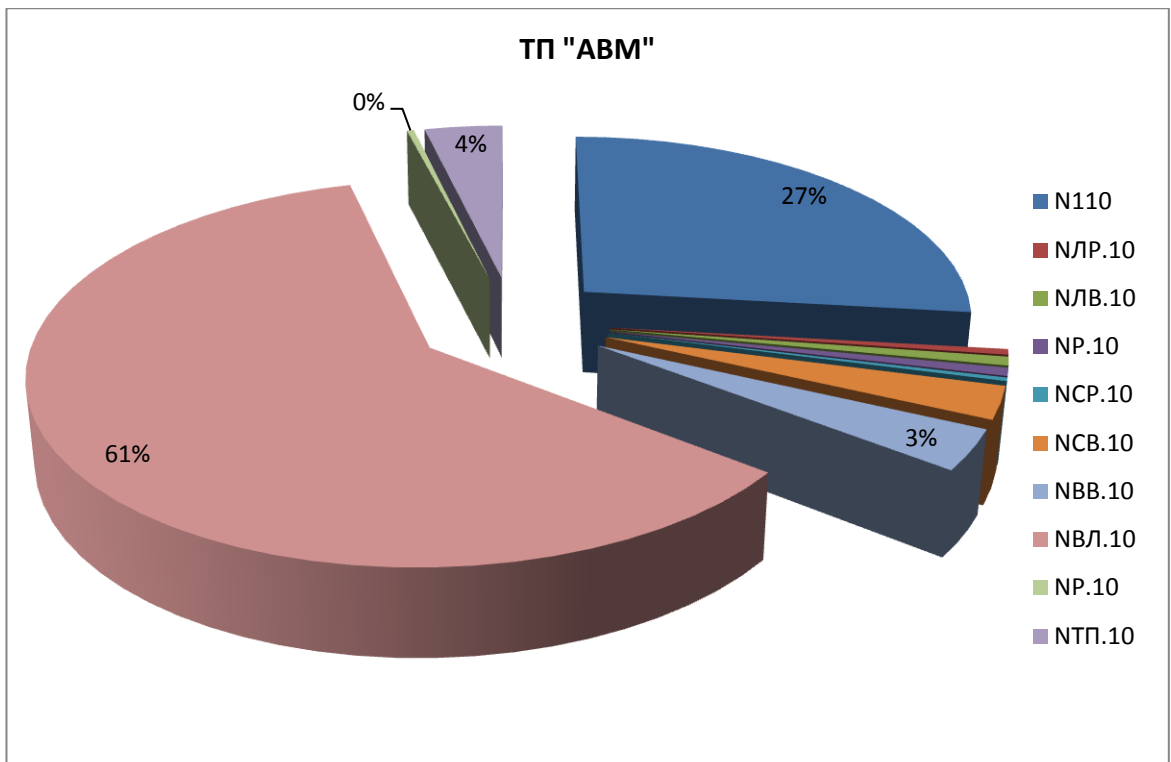


Рисунок 14 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления по элементам цепи «источник – ТП № 11-18-12»

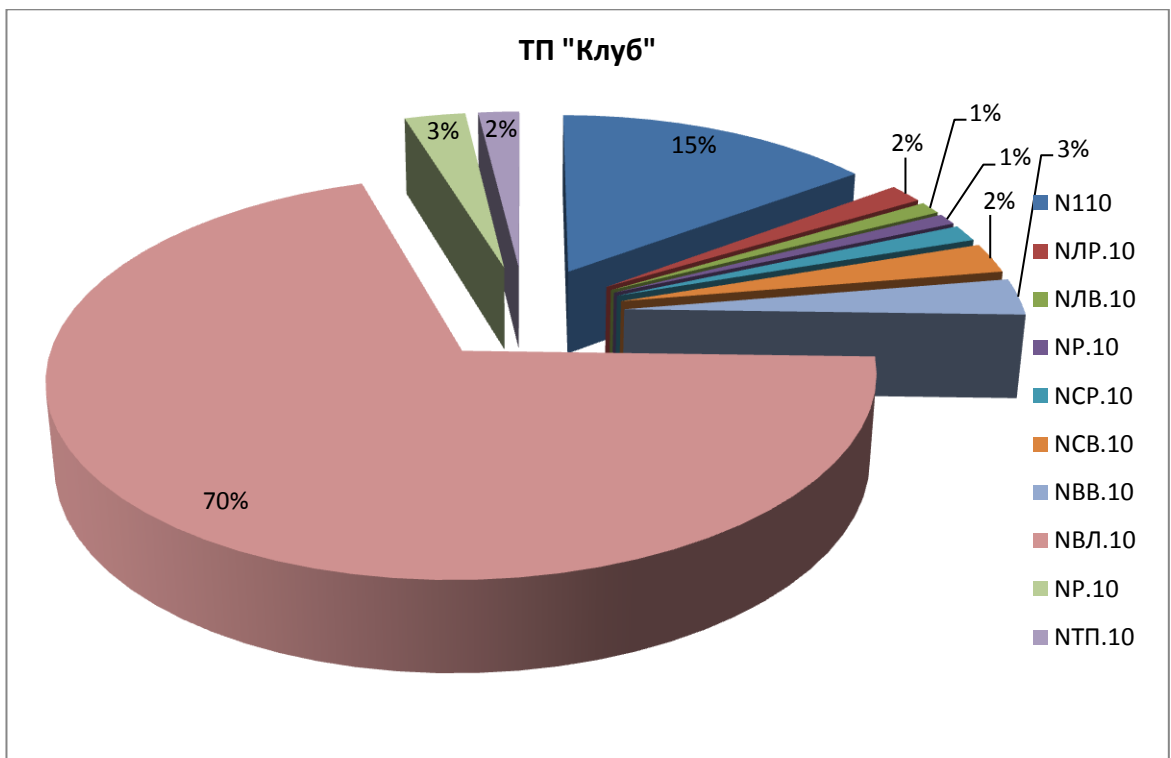


Рисунок 15 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления по элементам цепи «источник – ТП № 11-18-14»

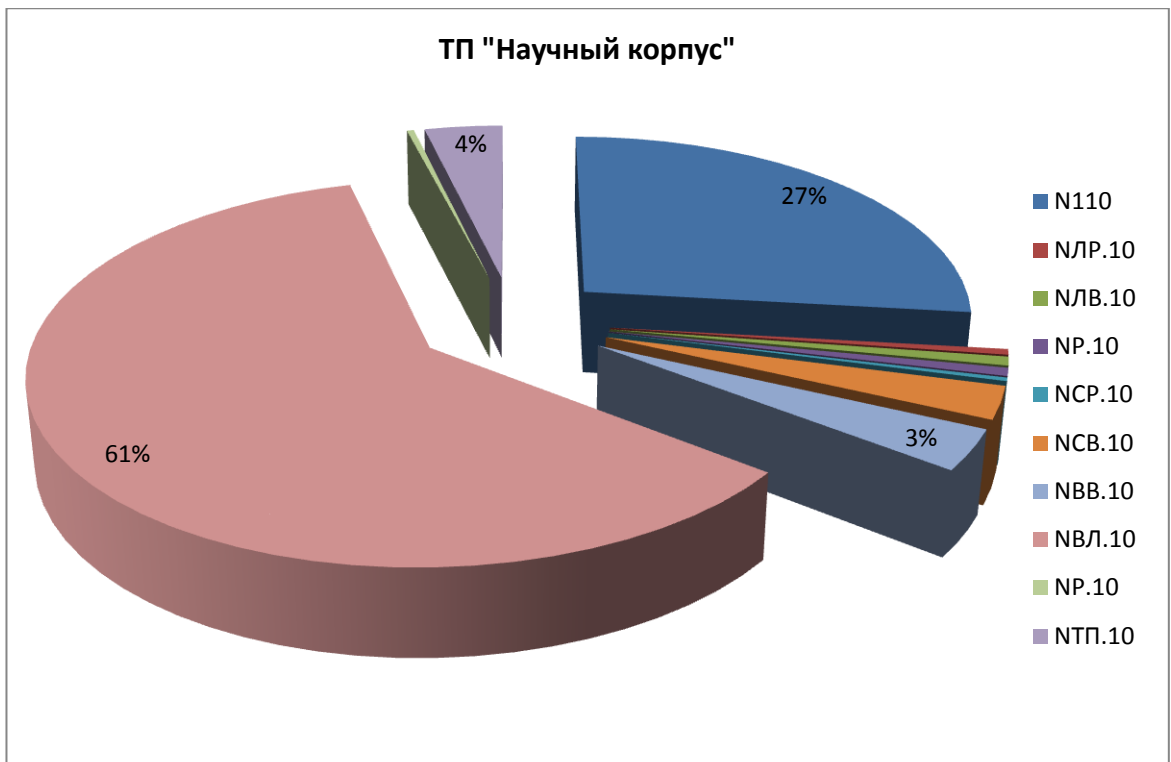


Рисунок 16 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления по элементам цепи «источник – ТП № 11-18-16»

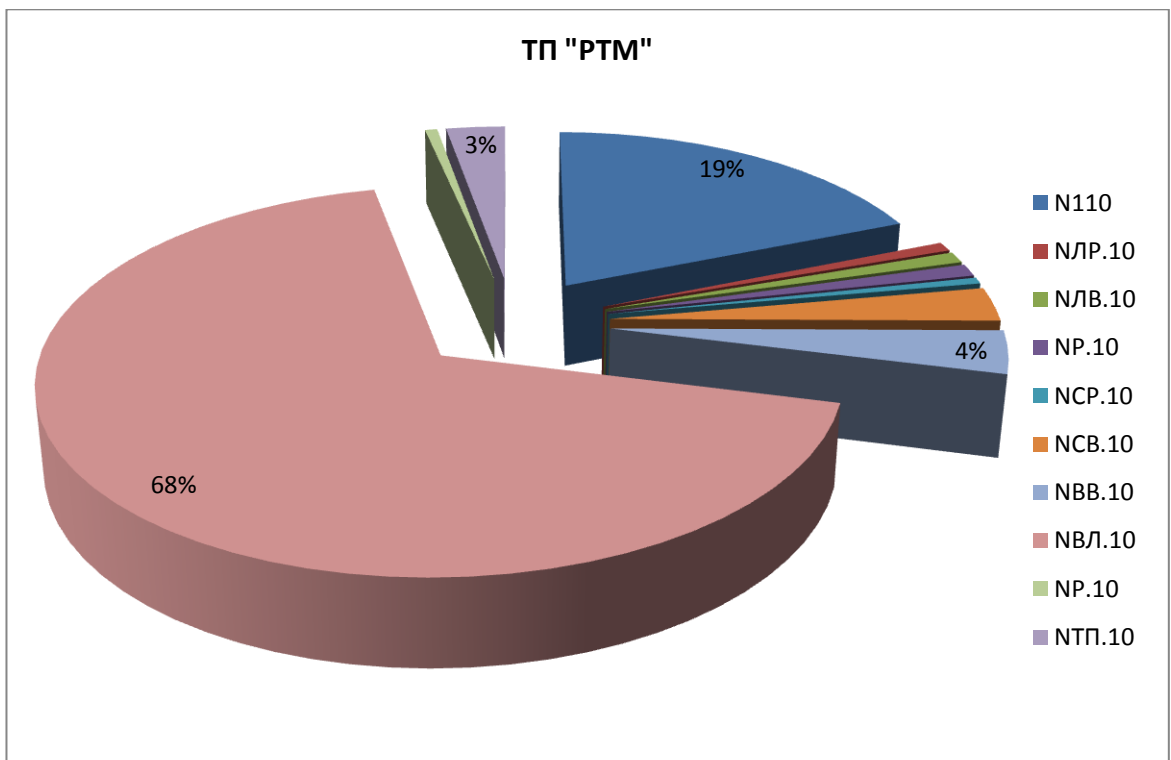


Рисунок 17 – Диаграмма распределения среднего времени восстановления по элементам цепи «источник – ТП № 11-18-20»

Как видно, из диаграмм, представленных на рисунках 14-17 наибольшее количество времени затрачивается на восстановление ВЛ 10 кВ.

Таким образом, были проанализированы результаты расчета количества и средней продолжительности внезапных отключений по существующей схеме электроснабжения потребителей РЭС-1.

По результатам анализа выявлено, что самыми ненадежным элементом цепи «источник питания – потребитель» являются ВЛ 10 кВ.

При анализе причин высокой повреждаемости ВЛ 10 кВ были использованы данные из оперативных журналов диспетчерского персонала за 2011-2016 г.г. При этом самый большой процент отключений ВЛ 10 кВ произошел по не установленным причинам. В соответствии с оперативными журналами, все отключения были разделены на 5 групп.

В процессе анализа влияния каждого фактора на общее число аварийных отключений была построена диаграмма распределения аварийных отключений (рисунок 18).

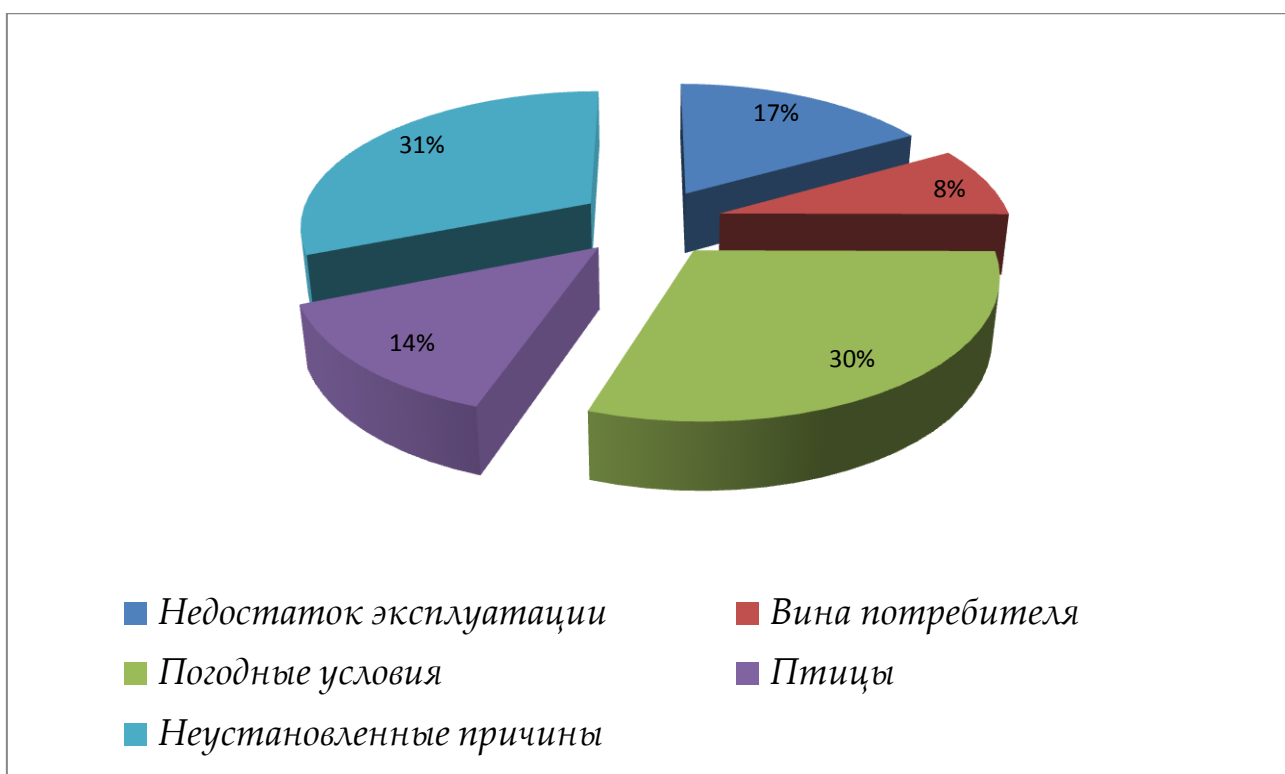


Рисунок 18 – Распределение аварийных отключений ВЛ 10 кВ по группам

При этом, самое большое количество отключений (31 %) произошло по не установленным причинам; 30 % отключений произошли из неблагоприятных погодных условий; 17 % благодаря недостатку эксплуатации (некачественно или несвоевременно проводивших планово-предупредительные работы, включая обходы и осмотры, расчистку трассы линии, перетяжку проводов и т. д.); 14 % по вине птиц 8 % по вине потребителя.

Можно сделать вывод, что для большого количества отключений причины осталась не установленной. То есть, при осмотре ЛЭП не было обнаружено видимых следов повреждений или перекрытия.

Таким образом, определены количественные характеристики показателей надежности и основные факторы влияющие на их снижение.

На основании вышеизложенного будут выделены приоритетные направления и предложены мероприятия по повышению надежности электрических сетей производственной базы РЭС-1.

### **3 Мероприятия по повышению надежности электроснабжения потребителей РЭС-1**

В результате проделанного анализа показателей надежности и определения их количественных характеристик в электрических сетях ООО «МРЭС» производственной базы РЭС-1 за период 2011-2016 г.г. предлагаются мероприятия по повышению надежности электроснабжения.

Таким образом, с целью снижения количества и продолжительности отключений потребителя на данном предприятии предлагается реализация следующих мероприятий:

- введение дополнительных штатных единиц – формирование второй оперативно-выездной бригады;
- замена неизолированных проводов на изолированные для ВЛ 10 кВ, питающих потребителя;
- применение в ТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ местного устройства АВР;
- рациональная организация текущих капитальных ремонтов и обеспечение аварийных запасов материалов.

Рассмотрим более подробно каждое из предложенных мероприятий:

1. Введение дополнительных штатных единиц – формирование второй оперативно-выездной бригады.

В настоящее время в штате работников РЭС-1 имеется одна оперативно-выездная бригада, но при этом предприятием приобретаются новые объекты. В 2016 году были приобретены сети ООО «Транзит-Энерго» и взяты на обслуживание вышки компании Мегафон по р.Хакасия.

Таким образом, в связи с расширением электрических сетей и рассредоточенностью объектов, находящихся в зоне обслуживания РЭС-1 рекомендуется сформировать дополнительную бригаду ОВБ, в составе двух электромонтеров, имеющих среднее или профессионально-техническое образование и стаж работы в электрических сетях не менее 1 года, имеющие IV группу по правилам безопасной эксплуатации электроустановок и водителя автомобиля ОВБ, имеющего удостоверение на право вождения и группу по электробезопасности не ниже II, стаж работы по специальности не менее 3 лет.

В должностные обязанности бригады будет входить:

- обеспечение оперативного обслуживания электрических сетей 10 кВ и трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ с правом выполнения эксплуатационных и ремонтных работ;
- обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей;
- производство плановых переключений для изменения схемы сети;
- подготовка рабочих мест, допуск персонала к работе, своевременный ввод в работу оборудования после окончания работ.

Рассчитаем средние ежемесячные затраты на оплату труда для предложенных штатных единиц, исходя из существующей величины оклада электромонтера ОВБ, без учета возможных премиальных лишений (таблица 41).



Таблица 41 – Расчет затрат на оплату труда

№ п/п	Структурное подразделение	Должность	Оклад, руб.	Премия (100%), руб.	Надбавки (районный коэффициент, надбавка за стаж работы), руб.	Итого, руб.
1	2	3	4	5	6	7
1	РЭС-1	Электромонтер ОВБ	10400,4	10400,4	6240,24	27041,04
1	РЭС-1	Электромонтер ОВБ	10400,4	10400,4	6240,24	27041,04
3	РЭС-1	Водитель ОВБ	8250,3	8250,3	4950,18	21450,78
Итого						75532,86

Таким образом, при ежегодном оплачиваемом отпуске в 36 дней, в среднем годовой фонд оплаты труда на данных работников составит 755 тысяч 328 рублей 86 копейки.

2. Замена неизолированных проводов на изолированные для ВЛ 10 кВ, питающих потребителя

В результате анализа и расчета показателей надежности были выявлены трансформаторные подстанции с наибольшим количеством отключений и их суммарной продолжительностью. Для питающих ВЛ 10 кВ ТП 11-18-12 «АВМ», ТП 11-18-20 «РТМ», ТП 11-18-14 «Клуб» и ТП 11-18-16 «Научный корпус» предлагается замена неизолированных проводов на самонесущие изолированные провода (СИП).

Протяженность ВЛ 10 кВ, выполненных неизолированным проводом, подходящие к перечисленным подстанциям приведены в таблице 42.

Таблица 42 – Характеристика ВЛ 10 кВ

Наименование ВЛ	Марка провода	Количество деревянных опор, шт.	Длина, км
1	2	3	4
ВЛ Ф №18-20	АС-95	5	0,184
ВЛ Ф №18-12	АС-95	5	0,127
ВЛ Ф №18-14	АС-95	6	0,309
ВЛ Ф №18-16	АС-95	6	0,221

Как видно из таблицы, все линии выполнены оголенными проводами марки АС. К недостаткам оголенного провода можно отнести:

– опасность поражения электрическим током при обрыве и падении провода;

– опасность поражения током при случайных контактах провода с животными и крупногабаритной техникой;

– скрещивание и короткие замыкания проводов при порывах ветра, снеге, гололеде;

– скрещивание проводов под воздействием ветвей деревьев;

– недостаточная механическая прочность проводов, ведущая к их обрывам;

– коррозия неизолированных токоведущих частей с последующим разрывом соединения.

Предлагается применение СИП-3 1×95, относящегося к категории защищенных, имеющего изоляцию из трудногораемого светостабилизированного синтетического материала, стойкого к ультрофиолетовому излучению и воздействию озона.

Для расчета материальных вложений в предлагаемое мероприятие воспользуемся сметой, предоставленной ООО «ХакасСетьРемонт». Для расчета использовались поопорные схемы, приведенные в приложении (рисунок А). Проведенный расчет приведен в таблице 43.

Таблица 43 – Смета на выполнение работ по замене проводов на СИП

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Количество, шт./м	Стоимость единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
1	2	3	4	5	6
Раздел 1. Общестроительные работы					
1	Развозка конструкций и материалов опор ВЛ-10 кВ по трассе: одностоечных железобетонных опор	1 опора	22	580,44	12769,68
2	Развозка конструкций и материалов опор ВЛ-10 кВ по трассе: материалов оснастки одностоечных опор	1 опора	22	160,48	3530,56
3	Установка железобетонных опор ВЛ-10 кВ с траверсами без приставок: одностоечных с одним подкосом	1 опора	22	5490,39	120788,58
4	Итого по разделу общестроительные работы				137088,82
Раздел 2. Демонтажные работы					
5	Демонтаж: 3-х проводов ВЛ 10кВ	1 опора (3 провода)	22	780,27	17165,94
6	Демонтаж опор ВЛ 10 кВ: без приставок одностоечных	1 опора	22	990,3	21786,6
7	Итого по разделу демонтажные работы				38952,54
Раздел 3. Материалы в текущем уровне цен					
8	Провода самонесущие изолированные для воздушных линий электропередачи с алюминиевыми жилами марки СИП-3 1х95-20	1000 м	0,841	57241,82	48140,3706
9	Разъединитель РЛНД	комплект	1	3683,24	3683,24

## Окончание таблицы 43

1	2	3	4	5	6
10	Устройство защиты от перенапряжения УЗПН-10	комплект	15	1807,34	27110,1
11	Изолятор подвесной полимерный SML 70/20Г	шт.	22	467,88	10293,36
12	Изолятор штыревой фарфоровый ИФ 27	шт.	30	343,65	10309,5
13	Колпачок К9	шт.	30	20,68	620,4
14	Спиральная вязка СВ-70	шт.	60	160,32	9619,2
15	Соединитель UU 7-16	шт.	14	120,22	1683,08
16	Плащечный зажим CD35	шт.	23	82,45	1896,35
17	Зажим ответвительный CD15N+B1	шт.	3	340,86	1022,58
18	Зажим аппаратный А2А-95-8	шт.	2	140,56	281,12
19	Зажим ответвительный герметичный RP 150	шт.	4	402,86	1611,44
20	Траверса ТМ 65	шт.	22	2250	49500
21	Итого по разделу материалы				165770,741
Итого по смете					
22	Общестроительные работы работы				137088,82
23	Демонтажные работы				38952,54
24	Материалы				165770,741
25	Машины и механизмы				78960,36
26	ФОТ				242309,12
27	Накладные расходы				108955,98
28	Итого				674037,56
29	НДС 18 %				121326,76
30	Всего по смете				795364,32

По итогам расчета затрат на проведение мероприятия по замене неизолированных проводов на СИП, подходящих к трансформаторным подстанциям, отходящий от ПС №11 «Искож 110/10» получили, что материальные вложения составят 795364,32 рублей.

Разработанное мероприятие является достаточно крупной инвестицией, но при позволит повысить надежность электроснабжения потребителей.

### 3. Применение в ТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ местного устройства АВР.

Устройство местного АВР в ТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ позволяет в случае отключения основного питания быстро перейти на резервный источник электроснабжения. При анализе конструктивного исполнения и схем присоединения ТП 10/0,4 кВ к сети оказалось, что применение местного АВР возможно только на одной из четырех исследуемых подстанций – ТП 11-18-16 «Научный корпус». Возможно применение автоматического включения резервного питания от подходящей питающей линии фидера 18-21.

Таким образом, рекомендуется установка АПВ на данной ТП. Воспользовавшись прайс-листами [6], определим предполагаемые финансовые

вложения для реализации предлагаемого мероприятия. Расчет представим в виде таблицы 44.

Таблица 44 – Расчет затрат на реализацию мероприятия

№ п/п	Наименование	Общая стоимость, руб.
1	2	3
1	Монтаж и пусконаладочные работы (установка щита АВР на подготовленную поверхность, проверка фазировки существующих вводных кабелей, проверка работоспособности АВР после монтажа, выдача протокола о работоспособности АВР)	84000
3	АВР 630А 2ввода 3ф IP54 Э/ДГУ Авт/Ручн	118500
3	Итого	202500

По итогам расчета затрат на проведение мероприятия – применение в ТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ местного устройства АВР, запитанных от трансформаторных подстанций фидера 18-16 и 18-21, отходящих от ПС №34 «Насосная 110/10» получили, что материальные вложения составят 202500 рублей.

Предлагаемое мероприятие позволит сократить время перерыва в питании потребителей, тем самым сократить величину ущерба от перерывов в электроснабжении.

4. Рациональная организация текущих ремонтов и обеспечение аварийных запасов материалов.

В настоящее время на предприятии существует децентрализованная система ремонтного обслуживания, характерная отсутствием специализированных ремонтных служб. Все работы выполняются персоналом РЭС-1. Местный персонал используется не рационально, возникают трудности с его равномерной загрузкой в соответствии с квалификацией, затруднено снабжение инструментом, приспособлениями для механизации труда, трудно создать резервы запасных частей.

Предлагаемое мероприятие рекомендует организовать ремонт и обслуживание оборудования на предприятии централизованно.

Централизованная система характеризуется тем, что капитальный ремонт электрооборудования выполняется специализированными ремонтными службами, а обслуживание и мелкий ремонт находящегося в эксплуатации электрооборудования выполняет персонал, подчиненный участку РЭС-1.

Централизованная система проведения ремонтов обеспечивает наилучшее техническое и наиболее экономичное обслуживание и ремонт оборудования. Единое руководство всеми работами делает эту систему более гибкой, а выполнение работ - более квалифицированным.

При этом, если будет выполнена рекомендация по формированию второй

оперативно-выездной бригады, то появится возможность рациональной и эффективной организации планово-предупредительного ремонта (ППР). При этом виде ремонта будут проводиться работы по осмотру электрооборудования, очистке, уплотнению, регулировке и ремонту отдельных блоков и деталей с устранением дефектов, возникших в процессе эксплуатации, профилактические испытания, а также измерения с целью выявления и своевременного устранения имеющихся неисправностей оборудования, приборов и аппаратов.

В таблице 45 приведен рекомендуемый график ППР для ТП, находящихся на обслуживании участка РЭС-1 (голубым цветом обозначены осмотры ТП, синим – техническое обслуживание).

Таблица 45 – Рекомендуемый график ППР на 2017 год

№	Диспетчерское наименование ТП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ТП 11-21-04 «КНС»												
2	ТП 11-21-06 «Школа»												
3	ТП 11-21-05 «Дет. сад»												
4	ТП 11-18-16 «Научный корпус»												
5	ТП 11-18-14 «Клуб»												
6	ТП 11-18-13 «АВМ»												
7	ТП 11-18-20 «РТМ»												
8	ТП 11-21-07 «Зерноток»												
9	ТП 11-03-041 «Полив»												
10	ТП 11-03-01 «Расцвет»												
11	ТП 11-03-02 «Школа»												
12	ТП 11-03-03 «Дет. сад»												
13	ТП 11-21-37 «Байсалханов»												
14	ТП 11-03-08 «Терентьев»												

В связи с планируемым графиком планово-предупредительных ремонтов появится возможность формирования запасного имущества и принадлежностей (ЗИП), что занимает значительное место в обеспечении надежности работы электрических сетей и включает:

- оперативный запас, который расходуется в случае отсутствия необходимых материально-технических ценностей при проведении планового технического обслуживания и ремонтов;

- аварийный запас, который расходуется в случае необходимости проведения внеплановых ремонтов (при отсутствии прочих источников своевременного материально-технического обеспечения).

Предложенный перечень технических и организационных мероприятий не является исчерпывающим, но настоятельно рекомендуется для применения на предприятии и может послужить основой для дальнейшего их совершенствования.

Далее проведем оценку прогнозируемых результатов повышения надежности в электрических сетях производственной базы РЭС-1 при внедрении предложенных мероприятий.

Для этого, пользуясь результатами проделанной работы, в частности рассчитанных количества и продолжительности отключений, проведем сравнительный анализ показателей надежности до и после применения выработанных мероприятий. Данные для анализа сведем в таблицу 46.

Таблица 46 – Эффективность применения мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей РЭС-1

№ п/п	Диспетчерское наименование ТП	Исходное значение		В результате мероприятий	
		N, откл./год	$\tau_{\Sigma}$ , ч	N, откл./год	$\tau_{\Sigma}$ , ч
1	2	3	4	5	6
1	ТП 11-18-12 «АВМ»	2,913	11,154	1,879	6,76
2	ТП 11-18-20 «РТМ»	2,895	15,271	1,868	9,255
3	ТП 11-18-14 «Клуб»	3,258	16,722	2,102	10,135
4	ТП 11-18-16 «Научный корпус»	2,830	11,672	1,826	7,074

Графики полученных результатов представлены ниже на рисунках 19-20.

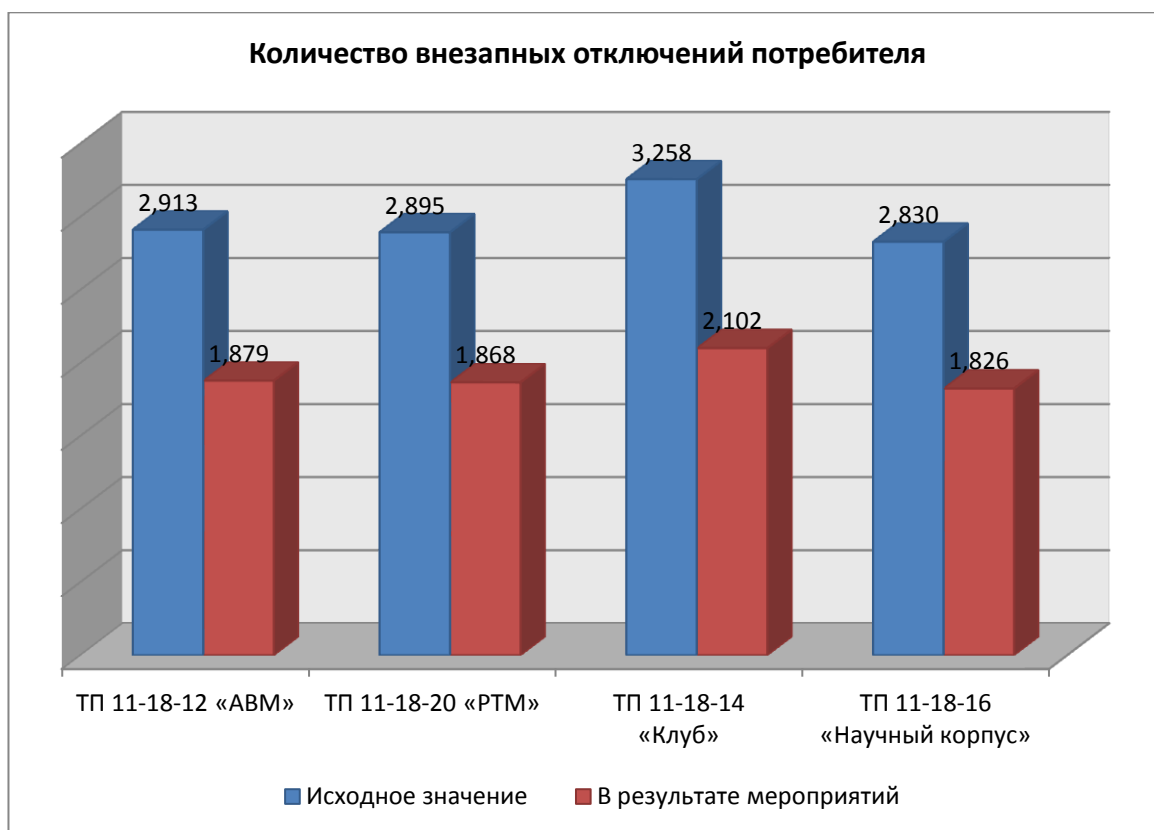


Рисунок 19 – Эффективность применения мероприятий (количество внезапных отключений потребителя)

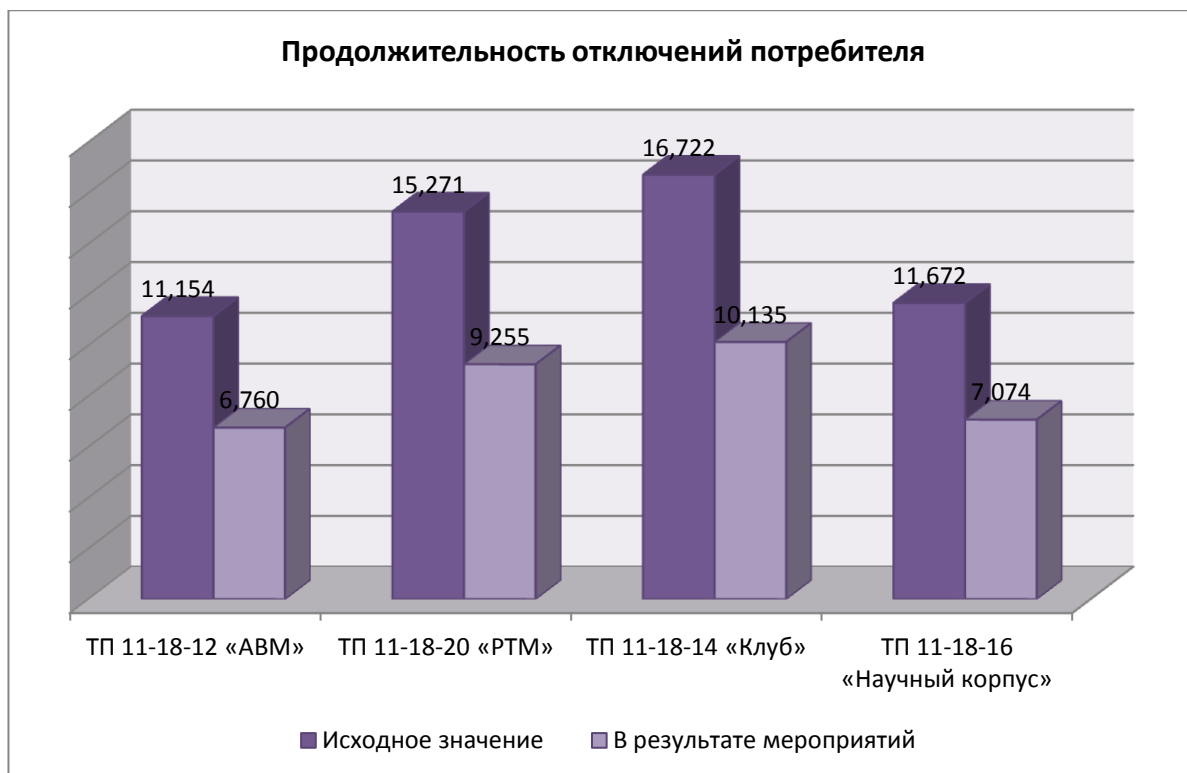


Рисунок 20 – Эффективность применения мероприятий (суммарная продолжительность отключений)

Согласно расчетам, общее количество отключений в результате внедрения указанных выше мероприятий можно снизить 1,55 раза, суммарную продолжительность отключений – в 1,67 раза по отношению к существующему уровню надежности. При этом, расчеты выполнены при внедрении мероприятий не для всех, а для части потребителей, для которых они возможны и целесообразны в рамках анализируемой ПС.

Практически все предложенные мероприятия требуют финансовых вложений. Рассчитаем предполагаемый экономический эффект от их внедрения и срок окупаемости предложенных нововведений.

Для расчета прогнозируемой прибыли предприятия при снижении объема недопоставленной электрической энергии на базе 2016 года, воспользуемся фактическими ценами поставки электрической энергии, находящиеся в открытом доступе на сайте АО «ХакасЭнергоСбыт» [24].

Расчет представим в виде таблицы 47.

Таблица 47 – Расчет прогнозируемой прибыли

Недоотпуск электроэнергии за 2016 г.		Прогнозируемый недоотпуск электроэнергии		Цена, руб./кВт	Прибыль, руб.
в кВт	в руб.	в кВт	в руб.		
2	3	4	5	6	7
78930	134338,86	12286	20910,772	1,204	113428,09

Рассчитав прогнозируемый годовой экономический эффект и учитывая прибыль от снижения технологических потерь в связи с улучшением показателей надежности (по данным из отчета о технико-экономических показателях предприятия за 2016г. – 3876,06 тыс.кВт) найдем срок за который окупится предлагаемый комплекс мероприятий, по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\mathcal{E}}, \quad (5)$$

где  $K$  - затраты на внедрение предложенных мероприятий, руб.;

$\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект, руб.

Воспользовавшись формулой 5 найдем срок окупаемости внедрения выработанных мероприятий:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1713774,32}{1382440 + 113428,09} = 1,15 \text{ года}$$

Таким образом, эффект от предложенной программы очевиден. После проведенных расчетов, можно сделать вывод, что затраты на данные мероприятия, окупятся через 1 год и 2 месяца.

В заключении стоит отметить, что ни одно из предложенных выше мероприятий по отдельности не поможет в полной мере решить проблему надежности электроснабжения потребителей. Рекомендуется комплексное применение всех рассмотренных организационно-технических мероприятий, которые позволят начать целенаправленную работу по повышению показателей надежности электрических сетей ООО «МРЭС» РЭС-1, в том числе за счет уменьшения количества и продолжительности внезапных отключений потребителей.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа была выполнена по материалам оперативных журналов учета данных о всех прекращении передачи электрической энергии, предоставленным ООО «МРЭС» РЭС-1 за период 2011-2016 г.г.

Поставленная в работе цель, заключающаяся в анализе основных показателей надежности электрических сетей предприятия и последующем определении их количественных характеристик, достигнута, задачи решены в полном объеме в соответствии с выданным заданием.

В работе использовались статистические методы оценки надежности по данным эксплуатации районных распределительных сетей, заключающиеся в:

- мониторинге журналов учета данных о прекращении передачи электрической энергии;
- расчете основных показателей надежности сети: количества и продолжительности внезапных отключений потребителей;
- анализе реальных и среднестатистических показателей надежности;
- обработке полученных расчетов.

На основании вышеизложенных методических аспектов в данной работе были выделены подстанции с наибольшим количеством и продолжительностью отключений потребителя за период 2011-2016 г.г., а также самые ненадежные элементы цепи «источник-потребитель», такие как элементы сети 110 кВ и воздушные линии 10 кВ. В ходе анализа были построены диаграммы распределения количества и продолжительности отключений, определены основные причины их возникновения и выделены приоритетные направления в области повышения надежности, определена эффективность данных направлений.

Результатом выполнения ВКР явился предложенный комплекс мероприятий по повышению уровня надежности в электрических сетях производственной базы РЭС-1, включающий:

- введение дополнительных штатных единиц – формирование второй оперативно-выездной бригады;
- замену неизолированных проводов на изолированные для ВЛ 10 кВ, питающих потребителя;
- применение в ТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ местного устройства АВР;
- рациональную организацию текущих капитальных ремонтов и обеспечение аварийных запасов материалов.

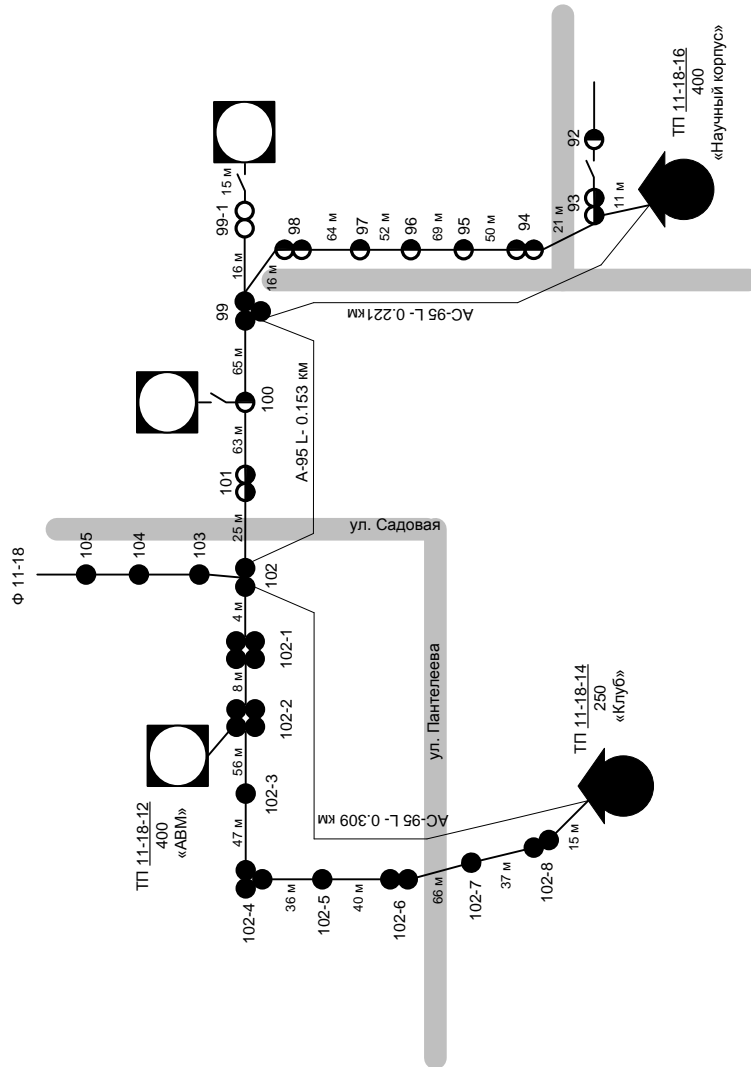
Полученные результаты ВКР нашли отражение в методических разработках ООО «МРЭС» и в настоящее время приняты к рассмотрению на предприятии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Александровская, Л. Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем [Текст] : учебник для вузов / Л. Н. Александровская, А. П. Афанасьев, А. А. Лисов. – М. : Логос, 2011. – 208 с.
- 2 Волков, Н. Г. Качество электроэнергии в системах электроснабжения [Текст] : учеб. пособие / Н. Г. Волков. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 152 с.
- 3 Воропай, Н. И. Концепция обеспечения надёжности в электроэнергетике [Текст] : учебник / Н. И. Воропай, Г. Ф., Ю.Н. и др. – М. : ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. – 212 с.
- 4 Доронина, О. И. Оценка надёжности воздушных линий электропередачи с учетом климатических факторов / О. И. Доронина, Н. Ю. Шевченко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2015. – № 9-2. – С. 226–230.
- 5 Жежеленко, И. В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях [Текст] : Монография / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 261 с.
- 6 Каталог электротехнического оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://sibecorpom.ru/> (дата обращения: 19.05.2017).
- 7 Китушин, В. Г. Надёжность энергетических систем. Теоретические основы [Текст] : учеб. пособие / В. Г. Китушин. – Новосибирск : НГТУ, 2013. – 362 с.
- 8 Лещинская, Т. Б. Система электроснабжения сельских районов 10-110 кВ как большая производственная система // Современные технологии : сборник научных трудов МИИСП, 2007. – с. 26–37.
- 9 Лыкин, А. В. Электрические системы и сети [Текст] : учеб. пособие / А. В. Лыкин. – М. : Логос, 2008. – 165 с.
- 10 Методология энергетических обследований электрических сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.энергосайт.рф/load/metodiki/metodologija\\_ehnergeticheskikh\\_obsledovani\\_j\\_ehlektricheskikh\\_setej/13-1-0-391](http://www.энергосайт.рф/load/metodiki/metodologija_ehnergeticheskikh_obsledovani_j_ehlektricheskikh_setej/13-1-0-391) (дата обращения: 16.05.2017).
- 11 О надёжности электроснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.si-electro.ru/article/4/126/> (дата обращения: 29.05.2017).
- 12 Половко, А. М., Гуров С.В. Основы теории надёжности [Текст] : учебник / А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб. : БХВ – Петербург, 2008. – 526 с.
- 13 Поспелов, Г. Е. Электрические системы и сети [Текст] : учебник для вузов / Г. Е. Поспелов. – М. : Технопринт, 2007. – 309 с.
- 14 Приказ Федеральной службы государственной статистики от 01.10.2012. № 509 «Сведения о производстве и распределении электрической энергии» // Собрание законодательства РФ. – 23.01.2012. – №23-Н. – Ст.17,2.
- 15 Прусс, В. Л. Анализ по повышению надёжности распределительных линий 6-10 кВ / В. Л. Прусс // Электрические станции, 2007. – № 7. – С. 42–46.

- 16 Райкин, А. Л. Элементы теории надежности технических систем [Текст] : учебное пособие / А. Л. Райкин. – М. : Радио, 2008. – 280 с.
- 17 Слышалов, В. К. Основы расчета надежности систем электроснабжения [Текст] : учебное пособие / В. К. Слышалов. – Иваново : ГОУВПО ИГЭУ, 2007. – 154 с.
- 18 Схиртладзе, А. Г. Надежность и диагностика технологических систем [Текст] / А. Г. Схиртладзе, М. С. Уколов, А. В. Скворцов. – М. : Новое знание, 2008. – 517 с.
- 19 Тарифы на электроэнергию нерегулируемые [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.khakensb.ru> (дата обращения: 23.05.2017).
- 20 Тремясов, В. А. Надежность электроснабжения [Текст] : учебное пособие / В. А. Тремясов. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2007. – 163 с.
- 21 Ушаков, И. А. Курс теории надежности систем [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. А. Ушаков. – М. : Дрофа, 2008. – 169 с.
- 22 Федеральный закон от 23.11.2009 № 261 – ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – 30.11.2009. - № 48. – Ст. 5711.
- 23 Хорольский, В. Я. Надежность электроснабжения [Текст] : учебное пособие / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов. – М. : ИНФРА-М, 2013. – 128 с.
- 24 Шевляков, В. И. Эффективность применения проводов при строительстве ВЛ 0,38 кВ / В. И. Шевляков // Энергет. строительство, 2008. – № 12. – С. 44–46.
- 25 Шевченко, Н. Ю. Методика выбора технических мероприятий по повышению надежности ВЛЭП в экстремальных метеоусловиях / Н. Ю. Шевченко, Ю. В. Лебедева, А. Г. Сошинов // Известия Волгоградского технического университета, 2009. – №7. – С. 77-80.
- 26 Шевченко, Н. Ю. Повышение сетевой надежности путем применения современных типов изоляторов / Н. Ю. Шевченко, Ю. В. Лебедева, А. Г. Сошинов // Тинчуринские чтения: матер, докл. IV Междунар. молодежной науч. конф., 2009. – Т. 1. – С. 37-39.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А



- -деревянная опора
- -двухстоечная деревянная опора
- -деревянная опора с ж/б приставкой
- -двухстоечная деревянная опора с ж/б приставками
- -бетонная опора
- -двухстоечная бетонная опора
- ⊠ -трехстоечная бетонная опора

Рисунок А – Схема ВЛ 10 кВ ПС №11 «Искож» ф.11-18