

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Реконструкция воздушных линий 0,4-10 кВ населенного пункта
Кош-Карагай Тюменской области»

Студент

И.А. Долгих

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Ю.В. Черненко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Аннотация

В выпускной квалификационной работе осуществлена реконструкция воздушных линий 0,4-10 кВ участка системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

Приведена краткая характеристика климатических и топографических условий населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области, а также характеристика объекта реконструкции.

Осуществлена реконструкция участка системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области, включающая разработку схемы электроснабжения реконструированного участка, определение расчётных нагрузок, выбор и проверка мощности силовых трансформаторов подстанций, выбор и проверка сечения проводников 0,38/0,22 кВ и 10 кВ, расчёт токов короткого замыкания, выбор электрических аппаратов 10 кВ и 0,38/0,22 кВ, приведены основные мероприятия по обслуживанию оборудования системы электроснабжения населённого пункта.

Осуществлена разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда.

Осуществлён расчёт контура заземления ТП-10/0,4 кВ.

Работа состоит из 66 страниц, 6 чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика объекта проектирования	6
1.1 Теоретические основы проектирования систем электроснабжения.....	6
1.2 Характеристика климатических и топографических условий населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.....	9
1.3 Характеристика схемы электроснабжения поселка Кош-Карагай	11
2 Реконструкция участка системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.....	15
2.1 Разработка схемы электроснабжения реконструированного участка	15
2.2 Определение расчётных нагрузок	17
2.3 Выбор месторасположения и мощности силовых трансформаторов подстанций	27
2.4 Выбор и обоснование марки проводников для реконструкции воздушных линий 0,4 – 10 кВ посёлка	31
2.5 Выбор и проверка сечения проводников воздушных линий 10 кВ	33
2.6 Выбор и проверка сечения проводников воздушных линий 0,4 кВ	36
2.7 Выбор электрических аппаратов для защиты ВЛ-0,4 кВ.....	46
2.8 Выбор электрических аппаратов для защиты ВЛ-10 кВ.....	49
3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда	52
3.1 Мероприятия по технике безопасности и охране труда при выполнении работ	52
3.2 Расчёт заземления контура заземления ТП-10/0,4 кВ	57
Заключение	61
Список используемых источников.....	63
Приложение А	65

Введение

Целью работы является реконструкция воздушных линий 0,4-10 кВ участка системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

Объектом исследования является населенный пункт Кош-Карагай Тюменской области.

Предметом исследования является воздушные линии 0,4-10 кВ участка системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

Актуальность проведения реконструкции обусловлена подключением новых потребителей к существующей системе электроснабжения населённого пункта, а также использованием устаревшего оборудования, не отвечающего современным критериям надёжности.

Работа состоит из трёх разделов, в которых исследуются и раскрываются основные задачи работы, а именно:

- в первом разделе проводится обоснование актуальности разрабатываемой темы, приведены теоретические основы проектирования систем электроснабжения. Приведена характеристика климатических и топографических условий населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области, а также характеристика объекта реконструкции;

- во втором разделе работы осуществлена реконструкция участка системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области, включающая разработку схемы электроснабжения реконструированного участка, определение расчётных нагрузок, выбор и проверка мощности силовых трансформаторов подстанций, выбор и проверка сечения проводников 0,38/0,22 кВ и 10 кВ, расчёт токов короткого замыкания, выбор электрических аппаратов 10 кВ и 0,38/0,22 кВ, приведены основные мероприятия по обслуживанию оборудования системы электроснабжения населённого пункта;

- в третьем разделе осуществляется разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда. Рассчитано заземление ТП-10/0,4 кВ.

В графической части приведены следующие чертежи:

1. Трассы ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ участка реконструкции населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

2. Однолинейная электрическая схема участка реконструкции системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

3. Конструкция трансформаторных подстанций участка реконструкции системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

4. Конструкция силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ участка реконструкции системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

5. Узлы монтажа воздушных линий 0,4-10 кВ участка реконструкции системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

6. Конструкция контура заземления ТП-10/0,4 кВ участка реконструкции системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

1 Краткая характеристика объекта проектирования

1.1 Теоретические основы проектирования систем электроснабжения

Схема электроснабжения показывает связь между источником питания (ИП) и потребителями электроэнергии. Вопрос питания электроэнергией потребителей решаются проектными организациями вместе с энергосистемой в зависимости от необходимой потребляемой электроэнергии, особенностей, перспектив развития электроснабжения и других факторов.

Кроме того, схема питания также зависит от расстояния до ИП, общей схемы электроснабжения, величины необходимой мощности с учетом ее роста, территориального размещения нагрузок, необходимой степени надежности электроснабжения, наличия собственного ИП - заводской теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и т.д. К основным ИП принадлежат энергосистема и заводские электростанции. Кроме того, применяют агрегаты гарантированного питания (АГП), ИП вторичных вспомогательных цепей. АГП используют при наличии потребителей особой группы надежности как третий независимый ИП. При небольшой мощности потребителей особой группы применяют АГП мощностью от 16 до 250 кВА. ИП вторичных вспомогательных цепей питают аппараты защиты, сигнализации и управления коммутационных аппаратов (выключателей и других аппаратов с дистанционным управлением).

Технико-экономические показатели энергосистем лучше, чем ТЭЦ, которые строят, если это технически целесообразно и экономически рентабельно, для совместного производства тепловой и электрической энергии в таких случаях:

- наличия отходов производства, пригодных в качестве топлива;
- при большом теплоснабжении;
- особых требованиях к электроснабжению.

В зависимости от напряжения ИП, электроснабжение осуществляется по вариантам схем:

- 1) схемы напряжением 6-10 кВ;
- 2) схемы напряжением 35-220 кВ.

Первые применяются при питании объектов небольшой мощности с одним ЦРП или РП и расположенных на расстоянии от энергосистемы не более чем 5-10 км.

Вторые применяются при питании объектов средней и значительной мощности с потребителями различных категорий надежности и расположенных на большом расстоянии от энергосистемы.

В качестве ИП чаще всего применяются главные понизительные подстанции (ГПП) или подстанции глубокого ввода (ПГВ). Существуют схемы с одним, двумя и более ИП.

В зависимости от места в сети энергосистемы и схемы присоединения к сети различают ПС [5]:

- узловые - присоединены тремя и более линиями;
- проходные - присоединены путем захода и выхода линии с двусторонним питанием или линии с последующим присоединением других ИП;
- ответвительные - присоединяются к одной или к двум линиям в «отпайки»;
- тупиковые - питаются одной или двумя радиальными линиями от ИП.

Согласно новым нормам технологического проектирования, на ПС переменного тока с высшим напряжением 6 (10) кВ и выше в схемах распределительных устройств, на ГПП отделители и короткозамкватели вместо выключателей не применяются, так как их использование требует образования искусственного КЗ для обеспечения условий отключения выключателя в начале линии, что приводит к таким обстоятельствам:

- увеличивается зона аварии, так как при повреждении на питающем ответвлении к трансформатору или в самом трансформаторе кратковременно

отключаются все остальные трансформаторы, присоединенные к данной магистрали, что недопустимо для потребителей 1 и 2 категорий надёжности;

- повышается мощность однофазных КЗ, значительно усложняются схемы релейной защиты и автоматики (РЗиА).

В наше время применяют блочные схемы с выключателями в цепях ВН трансформаторов в случае нецелесообразности (по условиям надёжности) или невозможности (по условиям отсутствия электрооборудования необходимого исполнения) применения более простых схем. В случае отсутствия транзита мощности применяют переключки с двумя разъединителями, что позволяет использовать одну линию и два трансформатора или две линии и один трансформатор в условиях ремонта, соответственно, линии и трансформатора (рисунок 1.1, а). В настоящее время освоен выпуск комплектных трансформаторных подстанций блочных распределительных (КТПБР) с высшим напряжением 35 и 110 кВ. Целесообразность использования блочных схем без переключек со стороны ВН (рисунок 1.1, б) чаще всего определяется их непосредственной простотой и надёжностью.

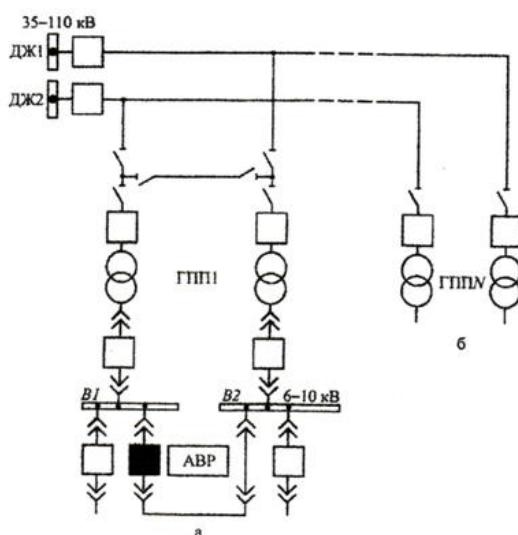


Рисунок 1.1 – Варианты типов присоединений подстанций к электрической сети: а - ответвительная; б – тупиковая

1.2 Характеристика климатических и топографических условий населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области

По климатическим характеристикам проектируемая территория относится к I В (первому) климатическому району с наименее суровыми условиями (СНиП 23-01-99).

Климат в регионе холодно умеренный со значительным количеством осадков (классифицируется как Dfb по шкале Кеппен и Гейгера).

Среднегодовая температура в регионе составляет минус 1,1 °С.

Среднее количество осадков в год в регионе составляет около 480 мм.

Рельеф - равнинный с преобладающими отметками 73 - 79 метров над уровнем моря.

Наибольшая глубина промерзания достигает для глинистых и суглинистых грунтов 2,0 м, для супесей и песков – 2,4 м.

Физико-геологических явлений, таких как оползней, карста на данной и прилегающей территории не наблюдается.

Территория паводковыми и весенними водами не затопляется.

Удельное сопротивление грунтов в районе прохождения трасс ВЛ принято в соответствии с замерами типами грунтов не более 100 Ом·м.

На основании пространственной изменчивости частных значений показателей физико-механических свойств грунтов, определенных лабораторными методами, в соответствии с ГОСТ 20522-96, с учетом данных о геологическом строении, литологических особенностях на геологическом разрезе в пределах изучаемой площадки выделено 2 инженерно-геологических элемента (ИГЭ):

- ИГЭ-1: «Песок коричневый мелкий, средней плотности, малой степени водонасыщения, водопроницаемый»;

- ИГЭ-2: «Суглинок желтый твердый опесчаненный, ожелезненный».

Климатические условия для проектируемых ВЛ-10 и 0,4 кВ приняты в соответствии с требованиями [1] и сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - Сводная таблица климатических параметров

№ п/п	Метеофакторы	Значение	Размерность
1	Нормативная скорость ветра (один раз в 25 лет) на высоте 10 м	29	м/с
2	Нормативная толщина стенки гололеда (один раз в 25 лет)	20	мм
3	Значение минимума температуры	Минус 47	°С
4	Значение максимума температуры	Плюс 39	°С
5	Район по количеству грозовых часов в году	60	часов
6	Район по весу снегового покрова	III	

Климатический график населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области приведён на рисунке 1.2.

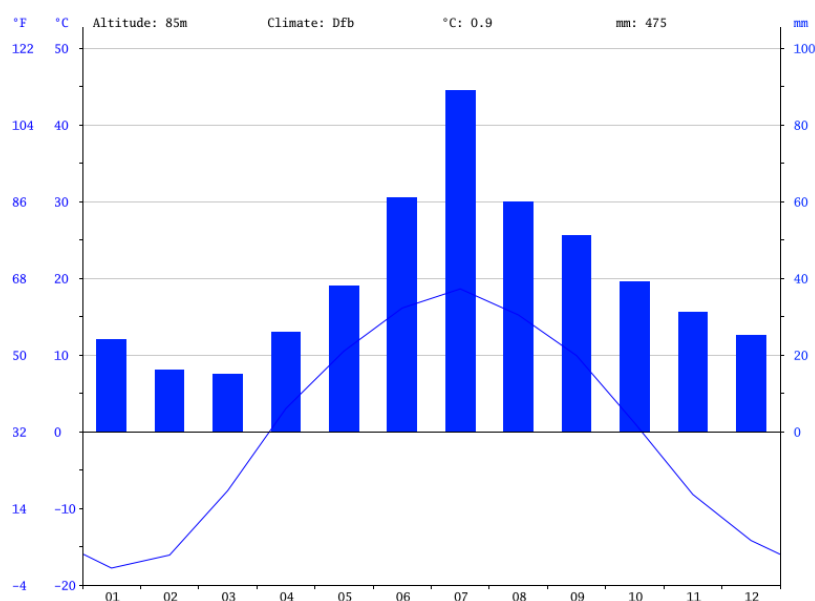


Рисунок 1.2 – Климатический график населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области

Температурный график населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области показан на рисунке 1.3.

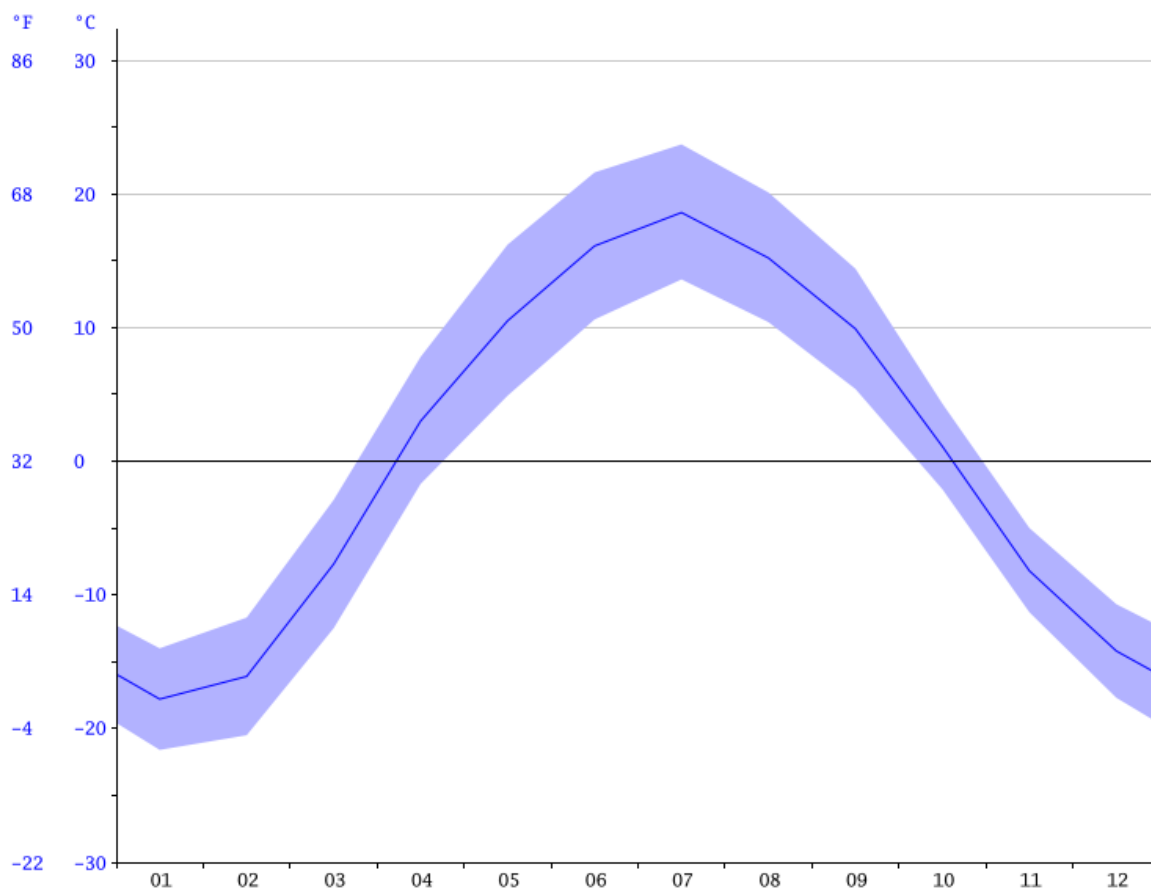


Рисунок 1.3 – Температурный график населенного пункта
Кош-Карагай Тюменской области

1.3 Характеристика схемы электроснабжения поселка Кош-Карагай

Участок работ представляет собой линию электропередач, проходящую по населенному пункту (посёлку Кош-Карагай Тюменской области).

Рассматриваемый посёлок полностью газифицирован, что учтено при выборе электрических нагрузок потребителей.

Потребители посёлка можно разделить на группы:

- жилые дома 1-го типа (без централизованного газоснабжения) и 2-го типа (с централизованным газоснабжением);

- коммунальные и культурно-административные потребители (общеобразовательная начальная школа на 160 учащихся, административное здание, медпункт, кафе на 50 мест, детский сад, магазины).

В таблице 1.2. приведено наименования потребителей населённого пункта Кош-Карагай Тюменской области.

Таблица 1.2 - Наименования потребителей населённого пункта Кош-Карагай Тюменской области

Поз.	Наименование потребителя	Кол-во, шт
1	Жилой дом 1-типа (без централизованного газоснабжения)	80
2	Общеобразовательная начальная школа на 160 учащихся	1
3	Административное здание	1
4	Жилой дом 2-типа (с централизованным газоснабжением)	23
5	Медпункт	1
6	Кафе на 50 мест	1
7	Детский сад – ясли с электроплитами на 50 мест	1
8	Магазин на 4 рабочих места (смешанный ассортимент)	3

Автомобильные дороги в населённом пункте Кош-Карагай Тюменской области находятся в хорошем состоянии.

По степени надежности электроснабжения посёлок Кош-Карагай Тюменской области относится ко II категории.

Проектируемые ВЛ-10 кВ, ВЛ-0,4 кВ, а также трёх КТП-10/0,4 кВ, сооружается для передачи электроэнергии к потребителям населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области с напряжением 0,4 кВ.

Указанный технологический процесс является безотходным и не сопровождается вредными выбросами в окружающую среду, как воздушную, так и водную.

Строительство ВЛ-10 кВ осуществляется отпайкой от заменяемой

существующей опоры №94 (на опору №1 УОА10-2) ПС «Равнец» (1 секция шин).

Электрические нагрузки объектов приняты с учетом электротехнических расчетов и исходных данных по РЭС.

Выбор мощности устанавливаемых КТП 10/0,4 кВ выбран с учетом расчета и перспективного роста электрических нагрузок.

Исполнение КТП 10/0,4 кВ: воздушный ввод ВН и кабельный ввод НН. На каждой КТП 10/0,4 кВ монтируется ограждение, площадка обслуживания (согласно технической политике АО «Тюменьэнерго»).

Новая линия ВЛ-10 кВ строится с использованием ж/б стоек СВ 110-5.

Новые линии ВЛ-0,4 кВ строится с использованием ж/б стоек СВ95-3, СВ110-5.

Проектируемая ВЛ-10 кВ выполняется проводом марки СИП-3.

Для ВЛ-0,4 кВ принимаются провода марки СИП-1А.

Сечение проводов линий выбирается с учетом электротехнических расчетов по линии 0,4 кВ и перспективой роста электрических нагрузок.

Удельное сопротивление грунтов в районе прохождения трасс ВЛ принято в соответствии с замерами типами грунтов не более 100 Ом·м.

Величины сопротивлений заземления должны быть проверены путем замера и при необходимости доведены до требуемых нормами.

Для защиты проектируемых ВЛ-10 кВ от грозовых перенапряжений проектом предусматривается:

- заземление каждой опоры ВЛ-10 кВ;
- заземление оборудования, устанавливаемого на опорах с сопротивлением заземления не более 10 Ом;
- на всем протяжении трассы проектом предусматривается установка разрядников серии SDI97 РДИП-10-0.4 на каждой опоре по одному с чередованием фаз.
- для переносного заземления предусмотрены прокалывающие зажимы SE20.3.

Для защиты проектируемых ВЛ-10 кВ от грозových перенапряжений проектом предусматривается заземление каждой опоры ВЛ-0,4 кВ.

Для защиты ВЛ-0,4 кВ от грозových перенапряжений проектом предусматривается установка в начале и конце линии, а также на ответвлениях от магистралей ограничителей перенапряжения LVA-260-4.

Трассы проектируемых сетей с расстановкой опор и оборудования нанесены на топоплане, разработанном на основании топосъемки М 1:1000, разработанной ООО «Гео-Вектор» в период проведения изыскательских работ.

Протяженность проектируемой трассы ВЛ-10 кВ составляет - 1,053 км.
Протяженность проектируемой трассы ВЛ-0,4 кВ составляет - 4,959 км.

Строительство ВЛ-10 кВ и ВЛ-0,4 кВ принято согласно [1-8].

На основании приведённых данных далее в работе осуществляется разработка мероприятий по реконструкции участка системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

2 Реконструкция участка системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области

2.1 Разработка схемы электроснабжения реконструированного участка

В связи с подключением новых потребителей проводится разработка схемы электроснабжения реконструированного участка системы электроснабжения.

Известно, что в результате проведения реконструкции планируется ввести в эксплуатацию ТП-10/0,4 кВ, а также планируется подключить новые потребители к питающим линиям напряжением 0,38/0,22 кВ.

На каждой ТП-10/0,4 кВ устанавливается по одному силовому трансформатору, т.к. населенный пункт Кош-Карагай Тюменской области относится ко II категории надёжности потребителей и, согласно требованиям [1], на питающих ТП при установке на них одного силового трансформатора необходимо дополнительное резервирование, однако в исходной схеме такое резервирование отсутствует. Поэтому в работе принимается магистральная схема с двухсторонним питанием, обеспечивающая достаточную надёжность потребителей II категории надёжности.

Питание всех ТП-10/0,4 кВ осуществляется от энергосистемы на напряжении 10 кВ отпайками от линии электропередачи ВЛ-10 кВ (опора №1 УОА10-2) ПС «Равнец» (1 секция шин).

Согласно основным положениям и требованиям [1-3], трансформаторные подстанции, питающие потребители II категории надёжности, рекомендуется выполнять по схемам электроснабжения с учётом принятых условий резервирования и секционирования на шинах ТП.

Учитывая данные факты, для реконструированной системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области на стороне 10 кВ выбирается магистральная схема электроснабжения (одиночные магистрали с общей резервной магистралью ВН).

Предусматривается двухстороннее питание магистральной схемы и, в случае исчезновения напряжения на основной питающей магистрали, питание посёлка осуществляется по резервной магистрали от второй секции сборных шин 10 кВ ПС «Равнец».

При этом к магистрали отпайками присоединяются все ТП-10/0,4 кВ, которые устанавливаются в результате реконструкции. Каждый силовой трансформатор ТП-10/0,4 кВ на стороне защищён плавкими предохранителями типа ПКТ-10, для коммутации также предусмотрены выключатели нагрузки.

На стороне низкого напряжения всех ТП-10/0,4 кВ для каждого трансформатора предусмотрены автоматы ввода для защиты и коммутации ТП-10/0,4 кВ с низкой стороны, линейные автоматы для защиты и коммутации питающей сети 0,38/0,22 кВ, обеспечивающие питанием потребителей населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области по магистральным схемам, в которых каждый потребитель получает питание отпайкой от основной магистрали.

Поопорная схема воздушных линий 0,4-10 кВ населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области приведена на графическом листе №1.

Однолинейная электрическая схема системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области приведена на графическом листе №2.

На основе проведённых расчётов, в работе проводится реконструкция участка системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области в связи с введением в эксплуатацию новых потребителей посёлка, а также моральным и физическим износом оборудования трансформаторных подстанций и воздушных линий 10 кВ и 0,4 кВ.

В работе вместо устаревших и морально изношенных закрытых подстанций, поэтому в проекте планируется установка комплектных трансформаторных подстанций (КТП), которые имеют ряд существенных

преимуществ по сравнению с аналогичными разработками закрытых типов подстанций.

Отходящие линии от ТП к потребителям посёлка также подлежат реконструкции в связи с введением в эксплуатацию новых потребителей посёлка Кош-Карагай Тюменской области. На сегодняшний день они выполнены с применением морально и физически устаревшего провода марки АС, на участке в виду этого часто случаются обрывы проводов.

В работе планируется выполнить воздушные линии с использованием самонесущих изолированных проводов (СИП), имеющих следующие преимущества перед проводами марки АС, которые использованы до реконструкции:

- значительное снижение затрат на монтаж, эксплуатацию и ремонт;
- снижение потерь электроэнергии из-за уменьшения реактивного сопротивления;
- высокая электробезопасность;
- улучшение эстетического вида.

2.2 Определение расчётных нагрузок

Исходными данными служит анализ состояния электроснабжения посёлка Кош-Карагай Тюменской области и значения расчетных нагрузок на вводах потребителей и коэффициентов одновременности, которые принимаются по [1,2].

Суммарную электрическую нагрузку определяют способом суммирования с помощью коэффициента одновременности или способом суммирования с помощью добавок, однако при выборе метода суммирования необходимо учитывать, что если нагрузки потребителей отличаются по величине более чем в 4 раза, то применение коэффициента одновременности в этом случае не рекомендуется.

Нагрузки потребителя или группы потребителей определяют для максимумов дневного S_o и вечернего S_e режимов.

Расчетные значения активных и реактивных нагрузок в дневные и вечерние часы определяются в соответствии с [2].

Значение расчётных нагрузок на вводе жилых домов

$$P_{p.1} = K_o P_{ном}, \text{кВт}, \quad (2.1)$$

$$Q_{p.1} = P_{p.1} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{квар}, \quad (2.2)$$

$$S_{p.1} = \sqrt{P_{p.1}^2 + Q_{p.1}^2}, \text{кВА}, \quad (2.3)$$

где P – активная мощность, кВт;

Q – реактивная мощность, квар;

S – полная мощность, кВА;

K_o – коэффициент одновременности (принимается в зависимости от количества жилых домов [8]);

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, соответствующий значению коэффициента активной мощности $\cos \varphi$, который определяется:

$$\cos \varphi = P_{p.1} / S_{p.1}. \quad (2.4)$$

Значение коэффициента активной мощности согласно норм [2] для жилых домов принимается $\cos \varphi = 0,9$ ($\operatorname{tg} \varphi = 0,48$) – для дневного режима, $\cos \varphi = 0,93$ ($\operatorname{tg} \varphi = 0,4$) – для вечернего режима.

Расчёт проводим на примере жилого дома 1-го типа по (2.1 – 2.3)

$$P_{p.1} = 2,4 \cdot 1 = 24 \text{кВт}.$$

$$Q_{p.1} = 2,4 \cdot 0,48 = 1,15 \text{квар}.$$

$$S_{p.1} = \sqrt{2,4^2 + 1,15^2} = 2,66 \text{кВА}.$$

Аналогично определены расчетные нагрузки на вводе жилых домов и результаты приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Расчетные нагрузки на вводе жилых домов

№ п/п	Помещение	Кол-во	День			Вечер		
			$P_{д,}$	$Q_{д,}$	$S_{д,}$	$P_{в,}$	$Q_{в,}$	$S_{в,}$
			кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
1	Жилой дом 1-типа	80	2,4	1,15	2,66	4,0	1,6	4,3
2	Жилой дом 2-типа (с централизованным газоснабжением)	23	3,4	1,6	3,8	3,5	1,4	3,8

Всего в посёлке Кош-Карагай Тюменской области 80 жилых домов первого типа и 23 жилых дома второго типа.

Расчётная мощность для многоквартирного дома согласно [2]:

- для домов первого типа: в дневном режиме – 2,4 кВт, а в вечернем режиме – 4 кВт/дом [2] в зависимости от коэффициентов дневного и вечернего максимумов;

- для домов второго типа (с централизованным газоснабжением): в дневном режиме – 3,4 кВт, в вечернем режиме – 3,5 кВт/дом [2].

Суммарные нагрузки жилых домов с учётом коэффициента одновременности и количества однотипных потребителей определяются [2]:

$$P_{\epsilon \sum I} = P_{\epsilon} \cdot n \cdot K_o, \text{кВт}; \quad (2.5)$$

$$Q_{\epsilon \sum I} = P_{\epsilon} \cdot n \cdot K_o \cdot \text{tg} \varphi, \text{квар}; \quad (2.6)$$

$$S_{\epsilon \sum I} = \sqrt{P_{\epsilon \sum I}^2 + Q_{\epsilon \sum I}^2}, \text{кВА}. \quad (2.7)$$

где P_{ϵ} - активная нагрузка дома, кВт;

n - количество домов;

K_o – коэффициент одновременности (зависит от числа потребителей), для дневного режима $K_o = 0,25$ и для вечернего $K_o = 0,33$ [1].

Далее определяются расчётные значения суммарных нагрузок жилых домов 1-го и 2-го типов по выражениям (2.5) – (2.7) для дневного и вечернего режимов:

- для домов первого типа, дневной режим:

$$P_{\epsilon \Sigma I} = 2,4 \cdot 80 \cdot 0,25 = 48 \text{ кВт};$$

$$Q_{\epsilon \Sigma I} = 2,4 \cdot 80 \cdot 0,25 \cdot 0,48 = 23 \text{ квар};$$

$$S_{\epsilon \Sigma I} = \sqrt{48^2 + 23^2} = 53,2 \text{ кВА}.$$

- для домов первого типа, вечерний режим:

$$P_{\epsilon \Sigma I} = 2,4 \cdot 80 \cdot 0,33 = 63,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{\epsilon \Sigma I} = 63,4 \cdot 0,4 = 25,4 \text{ квар};$$

$$S_{\epsilon \Sigma I} = \sqrt{63,4^2 + 25,4^2} = 68,3 \text{ кВА}.$$

- для домов второго типа, дневной режим:

$$P_{\epsilon \Sigma I} = 3,4 \cdot 23 \cdot 0,25 = 19,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{\epsilon \Sigma I} = 3,4 \cdot 23 \cdot 0,25 \cdot 0,48 = 9,4 \text{ квар};$$

$$S_{\epsilon \Sigma I} = \sqrt{19,6^2 + 9,4^2} = 21,7 \text{ кВА}.$$

- для домов второго типа, вечерний режим:

$$P_{\epsilon \Sigma I} = 3,4 \cdot 23 \cdot 0,33 = 25,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{\epsilon \Sigma I} = 3,4 \cdot 23 \cdot 0,33 \cdot 0,4 = 10,3 \text{ квар};$$

$$S_{\epsilon \Sigma I} = \sqrt{25,8^2 + 10,3^2} = 27,8 \text{ кВА}.$$

Суммарные нагрузки всех жилых домов 1-го и 2-го типов

$$P_{\epsilon \Sigma} = P_{\epsilon \Sigma I} + P_{\epsilon \Sigma II}, \text{кВт}; \quad (2.8)$$

$$Q_{\epsilon \Sigma} = Q_{\epsilon \Sigma I} + Q_{\epsilon \Sigma II}, \text{квар}; \quad (2.9)$$

$$S_{\epsilon \Sigma} = S_{\epsilon \Sigma I} + S_{\epsilon \Sigma II}, \text{кВА}. \quad (2.10)$$

По выражениям (2.8) – (2.10) определяются суммарные нагрузки всех жилых домов для дневного и вечернего режимов

- дневной режим

$$P_{\epsilon \Sigma} = 48 + 19,6 = 67,6 \text{кВт};$$

$$Q_{\epsilon \Sigma} = 23 + 9,4 = 32,4 \text{квар};$$

$$S_{\epsilon \Sigma} = 67,6 + 32,4 = 100 \text{кВА}.$$

- вечерний режим

$$P_{\epsilon \Sigma} = 63,4 + 25,8 = 89,2 \text{кВт};$$

$$Q_{\epsilon \Sigma} = 25,4 + 10,3 = 35,7 \text{квар};$$

$$S_{\epsilon \Sigma} = 68,3 + 27,8 = 96,1 \text{кВА}.$$

По заданию в посёлке Кош-Карагай Тюменской области имеются следующие коммунальные и культурно-административные потребители:

- общеобразовательная начальная школа на 160 учащихся – 1;
- административное здание – 1;
- медпункт – 1;
- кафе на 50 мест – 1;
- детский сад – 1;
- магазин на 4 рабочих места (смешанный ассортимент) – 3.

Суммарные нагрузки группы коммунальных и культурно-административных потребителей с учётом коэффициента одновременности и количества однотипных потребителей определяются [2]:

$$P_{\epsilon \Sigma I} = P_{\epsilon} \cdot n \cdot K_o, \text{кВт}; \quad (2.11)$$

$$Q_{\epsilon \Sigma I} = P_{\epsilon} \cdot n \cdot K_o \cdot \text{tg} \varphi, \text{квар}; \quad (2.12)$$

$$S_{\epsilon \Sigma I} = \sqrt{P_{\epsilon \Sigma I}^2 + Q_{\epsilon \Sigma I}^2}, \text{кВА}. \quad (2.13)$$

где P_{ϵ} - активная нагрузка потребителя, кВт;

n - количество потребителей;

K_o – коэффициент одновременности (зависит от числа потребителей), для дневного режима $K_o = 0,8$ и для вечернего $K_o = 0,5$ [2].

Определяются суммарные нагрузки коммунальных и культурно-административных потребителей посёлка Кош-Карагай Тюменской области по выражениям (2.11) – (2.13) для дневного и вечернего режимов на примере общеобразовательной начальной школы:

- дневной режим

$$P_{\epsilon \Sigma I} = 38,3 \cdot 1 \cdot 0,8 = 30,6 \text{кВт};$$

$$Q_{\epsilon \Sigma I} = 38,3 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,48 = 14,7 \text{квар};$$

$$S_{\epsilon \Sigma I} = \sqrt{30,6^2 + 14,7^2} = 33,9 \text{кВА}.$$

- вечерний режим:

$$P_{\epsilon \Sigma I} = 40,5 \cdot 1 \cdot 0,8 = 32,4 \text{кВт};$$

$$Q_{\epsilon \Sigma I} = 40,5 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 12,9 \text{квар};$$

$$S_{\epsilon \Sigma I} = \sqrt{32,4^2 + 12,9^2} = 34,9 \text{кВА}.$$

Аналогично рассчитываются нагрузки группы коммунальных и культурно-административных потребителей с учётом коэффициента одновременности и количества однотипных потребителей и результаты расчётов приводятся в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Нагрузки группы коммунальных и культурно-административных потребителей посёлка Кош-Карагай Тюменской области

№ п/п	Помещение	Кол-во	День			Вечер		
			P _д ,	Q _д ,	S _д ,	P _в ,	Q _в ,	S _в ,
			кВт	квар	кВА	кВт	квар	кВА
1	Общеобразовательная начальная школа на 160 учащихся	1	30,6	14,7	33,9	32,4	12,9	34,9
2	Административное здание	1	3,4	1,6	3,8	3,6	1,4	3,9
3	Медпункт	1	2,2	1,1	2,5	2,4	1,0	2,6
4	Кафе на 50 мест	1	8,4	4,0	9,3	10,1	4,1	10,9
5	Детский сад – ясли с электроплитами на 50 мест	1	9,8	4,7	10,8	6,7	2,7	7,2
6	Магазин на 4 рабочих места	3	9,0	7,2	11,5	21,6	8,6	23,2

Суммарные нагрузки коммунальных и культурно-административных потребителей посёлка Кош-Карагай Тюменской области отличаются по значению более чем в четыре раза, их суммирование производится с помощью добавок к большей слагаемой нагрузки согласно [2]

$$P_{\Sigma} = P_{\max} \Sigma \Delta P_{\epsilon} = P_{шк} + \Delta P_{адм} + \Delta P_{мед} + \Delta P_{кафе} + \Delta P_{сад} + 3 \Delta P_{маг}, кВт; \quad (2.14)$$

$$Q_{\Sigma} = P_{\Sigma} \cdot tg \varphi, квар; \quad (2.15)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}, кВА. \quad (2.16)$$

где $P_{\Sigma i}$, $Q_{\Sigma i}$, $S_{\Sigma i}$ – соответственно активные, реактивные и полные суммарные нагрузки группы коммунальных и культурно-административных потребителей с учётом количества однотипных потребителей (таблица 2.2); P_{max} – наибольшая активная нагрузка на вводе потребителя расчётного участка;
 ΔP_{Σ} – добавки к большей слагаемой нагрузки [2,8].

По выражениям (2.14) – (2.16) определяются суммарные нагрузки коммунальных и культурно-административных потребителей посёлка Кош-Карагай Тюменской области для дневного и вечернего режимов

- дневной режим

$$P_{\Sigma} = 30,6 + 2,1 + 1,2 + 5,1 + 6,0 + 5,4 = 63,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = 63,4 \cdot 0,62 = 39,3 \text{ квар};$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{63,4^2 + 39,3^2} = 74,6 \text{ кВА}.$$

- вечерний режим

$$P_{\Sigma} = 32,4 + 2,1 + 1,5 + 6,0 + 3,9 + 13,8 = 76,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = 76,8 \cdot 0,62 = 47,6 \text{ квар};$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{76,8^2 + 47,6^2} = 90,4 \text{ кВА}.$$

Нагрузки уличного освещения посёлка Кош-Карагай Тюменской области принимают в соответствии с нормами [11].

Нормативы нагрузки наружного освещения приведены в [1,2].

В посёлке Кош-Карагай Тюменской области длина улиц с асфальтобетонным покрытием составляет 2150 м.

Согласно нормам [1], при ширине проезжей части 10 м и площади $S = 2150 \text{ м}^2$ для улиц, удельная мощность общего равномерного освещения принимается равной 2,7 Вт/м.

Для наружного освещения коммунальных и культурно-административных потребителей при общей площади $S = 625 \text{ м}^2$ удельная мощность составляет $2,4 \text{ Вт/м}$ [1].

Расчетная нагрузка наружного освещения:

$$P_{\text{ул.осв.}\Sigma} = \Sigma(P_{\text{уд.осв.}\Sigma i} \cdot S), \text{кВт}; \quad (2.17)$$

где $P_{\text{ул.осв.}\Sigma i}$ – удельная мощность уличного освещения, Вт/м , [2];

S – освещаемая площадь, м^2 .

$$P_{\text{ул.осв.}\Sigma} = (2,7 \cdot 2150 + 2,4 \cdot 625) = 7,3 \text{ кВт}.$$

Полная нагрузка освещения улиц с учетом ламп типа ДРИ ($\cos \varphi = 0,73$)

$$P_{\text{ул.осв.}} = \frac{P_{\text{ул.осв.}\Sigma}}{\cos \varphi}, \text{кВт}. \quad (2.18)$$

$$Q_{\text{ул.осв.}} = P_{\text{ул.осв.}} \cdot \text{tg} \varphi, \text{квар}. \quad (2.19)$$

$$S_{\text{ул.осв.}} = \sqrt{P_{\text{ул.осв.}}^2 + Q_{\text{ул.осв.}}^2}, \text{кВА}. \quad (2.20)$$

Расчёты уличного освещения по (2.18) - (2.20)

$$P_{\text{ул.осв.}} = \frac{7,3}{0,73} = 10,0 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{ул.осв.}} = 10 \cdot 0,93 = 9,3 \text{ квар}.$$

$$S_{\text{ул.осв.}} = \sqrt{10,0^2 + 9,3^2} = 13,7 \text{ кВА}.$$

Суммарные нагрузки посёлка для дневного режима определяются методом суммирования с учётом коэффициента одновременности по выражениям [2]

$$P_{\partial \Sigma} = (P_{\partial \Sigma \partial} + P_{\partial \Sigma \kappa}) \cdot K_o, \text{кВт}; \quad (2.21)$$

$$Q_{\partial \Sigma} = (Q_{\partial \Sigma \partial} + Q_{\partial \Sigma \kappa}) \cdot K_o, \text{квар}; \quad (2.22)$$

$$S_{\partial \Sigma} = \sqrt{P_{\partial \Sigma}^2 + Q_{\partial \Sigma}^2}, \text{кВА}. \quad (2.23)$$

где $P_{\partial \Sigma \partial}$, $Q_{\partial \Sigma \partial}$, $S_{\partial \Sigma \partial}$ – соответственно активные, реактивные и полные суммарные нагрузки жилых домов для дневного режима, кВт;

$P_{\partial \Sigma \kappa}$, $Q_{\partial \Sigma \kappa}$, $S_{\partial \Sigma \kappa}$ – соответственно активные, реактивные и полные суммарные нагрузки коммунальных и культурно-административных потребителей домов для дневного режима, кВт.

Расчёты по (2.21) – (2.23) выполняются для дневного режима:

$$P_{\partial \Sigma} = (67,6 + 63,4) \cdot 0,8 = 131 \text{кВт};$$

$$Q_{\partial \Sigma} = (32,4 + 39,3) \cdot 0,8 = 57,4 \text{квар};$$

$$S_{\partial \Sigma} = \sqrt{131^2 + 57,4^2} = 143 \text{кВА}.$$

Вечерний режим рассчитывается с учётом уличного освещения ($P_{\text{ул.осв.}}$, $Q_{\text{ул.осв.}}$, $S_{\text{ул.осв.}}$ – соответственно активные, реактивные и полные суммарные нагрузки уличного освещения (только для вечернего режима)).

$$P_{\partial \Sigma} = 89,2 + 53,6 + 6 = 148,8 \text{кВт};$$

$$Q_{\partial \Sigma} = 148,8 \cdot 0,62 = 92,3 \text{квар};$$

$$S_{\partial \Sigma} = \sqrt{148,8^2 + 92,3^2} = 175,1 \text{кВА}.$$

Так как расчетная вечерняя нагрузка посёлка больше, чем дневная, все дальнейшие расчеты выполняются для режима вечерней нагрузки.

2.3 Выбор месторасположения и мощности силовых трансформаторов подстанций

Для данного поселка Кош-Карагай Тюменской области намечается сооружение трёх подстанций ПС-10/0,4 кВ [8].

К ПС №1 присоединяются: 23 жилых дома 1-го типа, 13 жилых домов 2-го типа, 1 магазин.

К ПС №2 присоединяются: 25 жилых домов 1-го типа, школа, административное здание, медпункт, кафе, детский сад.

К ПС №3 присоединяются: 32 жилых дома 1-го типа, 10 жилых домов 2-го типа, 2 магазина. Рассчитываются значения центров электрических нагрузок (ЦЕН) посёлка, в которых рекомендовано установить ТП-10/0,4 кВ [2].

Координаты центра расчетных нагрузок согласно [2]:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n S_i X_i}{\sum_{i=1}^n S_i}; \quad Y_p = \frac{\sum_{i=1}^n S_i Y_i}{\sum_{i=1}^n S_i}. \quad (2.24)$$

Определение координат центра расчетных нагрузок для ориентировочного месторасположения ТП-10/0,4 кВ №1 приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Исходные данные для определения координат ПС №1

№ пот	S _д , кВА	X, см	Y, см	№ пот	S _д , кВА	X, см	Y, см
1	4,3	26,0	31,0	1	4,3	35,0	28
1	4,3	27,0	31,0	1	4,3	36,0	28
1	4,3	28,0	31,0	1	4,3	37,0	28
1	4,3	29,0	31,0	1	4,3	32,0	20
1	4,3	30,0	31,0	1	4,3	32,0	60
1	4,3	31,0	31,0	1	4,3	32,0	10,0
1	4,3	32,0	31,0	1	4,3	32,0	14,0
1	4,3	33,0	31,0	1	4,3	32,0	18,0

Продолжение таблицы 2.3

№ пот	S _д , кВА	X, см	Y, см	№ пот	S _д , кВА	X, см	Y, см
4	3,5	52,0	2,8	4	3,5	55,0	28,0
4	3,5	53,0	2,8	4	3,5	56,0	28,0
4	3,5	54,0	2,8	4	3,5	57,0	28,0
4	3,5	57,0	31,0	8	9,0	51,0	28,0
1	4,3	34,0	31,0	4	4,3	51,0	31,0
1	4,3	35,0	31,0	4	3,5	52,0	31,0
1	4,3	36,0	31,0	4	3,5	53,0	31,0
1	4,3	37,0	31,0	4	3,5	54,0	31,0
1	4,3	32,0	28,0	4	3,5	55,0	31,0
1	4,3	33,0	28,0	4	3,5	56,0	31,0
1	4,3	34,0	28,0				

$$X_{ПС№1} = \frac{8216}{158} = 52\text{см};$$

$$Y_{ПС№1} = \frac{4582}{158} = 29\text{см}.$$

Определение координат центра расчетных нагрузок для ориентировочного месторасположения ТП-10/0,4 кВ №2 приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Исходные данные для определения координат ПС №2

№ пот	S _д , кВА	X, см	Y, см	№ пот	S _д , кВА	X, см	Y, см
1	4,3	21,0	1,0	1	4,3	27,0	15,0
1	4,3	22,0	1,0	1	4,3	28,0	15,0
1	4,3	23,0	1,0	1	4,3	16,0	3,0
1	4,3	24,0	1,0	1	4,3	16,0	7,0
1	4,3	25,0	1,0	1	4,3	16,0	11,0
1	4,3	26,0	1,0	1	4,3	16,0	15,0
1	4,3	27,0	1,0	1	4,3	19,0	3,0
1	4,3	25,0	12,0	1	4,3	19,0	7,0
1	4,3	26,0	12,0	1	4,3	19,0	11,0
1	4,3	27,0	12,0	1	4,3	19,0	15,0
1	4,3	28,0	12,0	1	4,3	19,0	19,0
1	4,3	29,0	12,0	2	43,6	16,0	22,0
1	4,3	25,0	15,0	3	4,8	18,0	33,0
1	4,3	26,0	15,0	5	3,2	15,0	30,0
6	13,2	16,0	26,0	7	9,1	16,0	18,0

$$X_{ПС\№2} = \frac{3882}{181,4} = 21,4\text{см};$$

$$Y_{ПС\№2} = \frac{4372}{181,4} = 24,1\text{см}.$$

Определение координат центра расчетных нагрузок для ориентировочного месторасположения ТП-10/0,4 кВ №3 приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Исходные данные для определения координат ПС №3

№ пот	S _д , кВА	X, см	Y, см	№ пот	S _д , кВА	X, см	Y, см
1	4,3	5,0	30,0	1	4,3	4,0	26,0
1	4,3	6,0	30,0	1	4,3	5,0	27,0
1	4,3	7,0	30,0	1	4,3	14,0	7,0
1	4,3	8,0	30,0	1	4,3	14,0	11,0
1	4,3	9,0	30,0	1	4,3	14,0	15,0
1	4,3	10,0	30,0	1	4,3	14,0	19,0
1	4,3	11,0	30,0	1	4,3	11,0	7,0
1	4,3	5,0	27,0	1	4,3	11,0	11,0
1	4,3	6,0	27,0	1	4,3	11,0	15,0
1	4,3	7,0	27,0	1	4,3	11,0	19,0
1	4,3	8,0	27,0	4	3,8	1,0	3,0
1	4,3	9,0	27,0	4	3,8	1,5	3,0
1	4,3	10,0	27,0	4	3,8	2,0	3,0
1	4,3	11,0	27,0	4	3,8	2,5	3,0
1	4,3	10,0	26,0	4	3,8	3,0	3,0
1	4,3	2,0	27,0	4	3,8	3,5	3,0
1	4,3	3,0	28,0	4	3,8	4,0	3,0
1	4,3	4,0	29,0	4	3,8	4,5	3,0
1	4,3	5,0	30,0	4	3,8	5,0	3,0
1	4,3	1,0	23,0	4	3,8	5,5	3,0
1	4,3	2,0	24,0	8	9,7	11,0	3,0
1	4,3	3,0	25,0	8	9,7	4,0	30,0

$$X_{ПС\№3} = \frac{2262}{195} = 11,6\text{см};$$

$$Y_{ПС\№3} = \frac{4642}{195} = 23,8\text{см}.$$

На всех ТП-10/0,4 кВ устанавливаются новые трансформаторы в составе комплектных трансформаторных подстанциях, имеющих

значительные преимущества перед закрытыми ТП, установленными до реконструкции.

Производится выбор трансформаторов для ТП-10/0,4 кВ №1 - №3 по значению суммарной расчётной мощности [2].

Номинальная мощность трансформатора [2]

$$S_{ном.т} = \frac{S_{расч}}{K_3}, кВА. \quad (2.25)$$

где K_3 – коэффициент загрузки трансформатора (для однотрансформаторных ПС принимается значение $K_3 = 0,95$).

Суммарная расчетная мощность ПС №1 составляет 78,5 кВА.

По выражению (2.25)

$$S_{ном.т} = \frac{78,5}{0,95} = 82,6кВА.$$

Выбирается трансформатор с номинальной мощностью $S_{ном} = 100$ кВА по [3].

Суммарная расчетная мощность ПС №2 составляет 61,7 кВА.

По выражению (2.25)

$$S_{ном.т} = \frac{61,7}{0,95} = 64,9кВА.$$

Выбирается трансформатор с номинальной мощностью $S_{ном} = 100$ кВА по [3].

Суммарная расчетная мощность ПС №3 составляет 82,4 кВА.

По выражению (2.25)

$$S_{ном.т} = \frac{82,4}{0,95} = 86,7кВА.$$

Выбирается трансформатор с номинальной мощностью $S_{ном.т} = 100$ кВА по [3].

В результате произведённых расчётов установлено, что на всех трансформаторных подстанциях в системе электроснабжения посёлка Кош – Карагай устанавливаются силовые трансформаторы марки ТМ-100/10.

2.4 Выбор и обоснование марки проводников для реконструкции воздушных линий 0,4 – 10 кВ посёлка

Одним из наиболее действенных энергосберегающих мероприятий является замена обычных голых алюминиевых и сталеалюминиевых проводов воздушных линий электропередач на самонесущие изолированные провода (СИП).

Реконструкция воздушных линий 0,4 – 10 кВ посёлка Кош-Карагай Тюменской области, помимо схемных решений, описанных ранее, также предусматривает замену устаревших проводов марки АС на инновационные провода марки СИП на ВЛ 0,4-10 кВ.

Провода СИП предназначены для передачи электроэнергии в воздушных линиях электропередачи и ответвлений к вводам в жилые дома и хозяйственные постройки.

Для повышения надежности работы линий распределения и передачи электроэнергии до 20 кВ за рубежом уже более 30 лет применяют самонесущие алюминиевые провода, в полиэтиленовой изоляции на напряжение до 20 кВ.

В последнее время самонесущие изолированные провода стали применять в России.

На рисунке 2.1 представлено конструктивное выполнение различных марок СИП.



Рисунок 2.1 - Конструктивное выполнение проводов СИП различных марок

В работе для реконструкции воздушных линий 0,4 – 10 кВ посёлка Кош-Карагай Тюменской области применяются провода системы СИП с изоляцией из сшитого полиэтилена:

- для ВЛ 10 кВ – марка СИП – 3 – состоит из 3-х изолированных алюминиевых жил. Механическая прочность и сечение 3-х фаз одинаковы;
- для ВЛ 0,4 кВ – марка СИП – 1А – состоит из 3-х изолированных алюминиевых жил и 1 изолированной несущей нейтрали, выполненной из алюминиевого сплава «Альмелек». Проводник нейтрали предназначен для подвешивания провода СИП и имеет высокую механическую прочность.

Монтаж воздушных линий с использованием провода СИП проводится на железобетонной опоре, имеющей гораздо большую прочность, чем деревянная.

Монтаж воздушных линий с использованием СИП проводится строго по утверждённому проекту с соблюдением норм [1,4,5] непосредственно по следующим этапам:

- разметка и аналитическая разбивка трассы воздушной линии согласно проектным данным;
- непосредственная расчистка трассы, по которой будет проходить воздушная линия;
- установка опор воздушных линий (в проекте принята установка железобетонных опор);

- монтаж крепёжных устройств (соединители, натяжители и др.);
- размотка с барабана провода СИП;
- натягивание воздушной линии с обязательным анкерным креплением на участках;
- установка промежуточных зажимов (промежуточное крепление);
- обустройство ответвлений от магистрали к потребителям;
- монтаж аппаратов защиты от перенапряжений и устройств заземления линии;
- монтаж и присоединение трансформаторных вводов и вводов в распределительное устройство;
- монтаж и присоединение конечных вводов к потребителям;
- испытания и ввод в эксплуатацию смонтированной воздушной линии с составлением соответствующих актов.

Узлы монтажа выбранных проводов марки СИП приведены на графическом листе №4.

2.5 Выбор и проверка сечения проводников воздушных линий 10 кВ

Расчётная схема ВЛ 10 кВ с указанием расчётных нагрузок в узлах ($S_{в}$, кВА) приведена на схеме (рисунок 2.2).

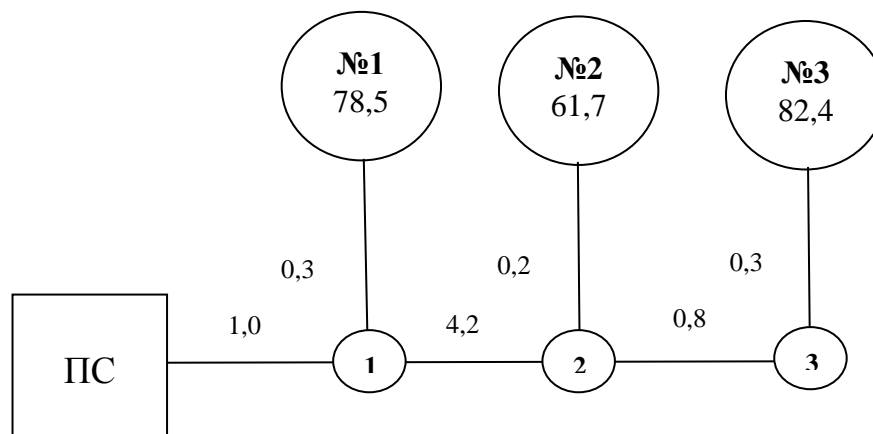


Рисунок 2.2 – Расчётная схема ВЛ 10 кВ

Расчет начинается с расчета нагрузок на наиболее удаленных участках. Суммарные нагрузки определяются с помощью надбавок [2].

Расчет ВЛ 10 кВ для подстанций №1, №2 и №3 выполняется для режима вечерних нагрузок, т.к. они больше дневных.

Нагрузка поселка с учётом нагрузки всех потребителей определяется их суммой ($S_B = S_1 + S_2 + S_3$) и присоединена к узлу №1 (линия ПС–1).

Расчет эквивалентной мощности магистрали $S_{эКВ}$:

$$S_{эКВ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_{yчi}^2 \cdot l_{yчi})}{\sum_{i=1}^n l_{yчi}}}, \text{кВА.} \quad (2.26)$$

$$S_{эКВ} = \sqrt{\frac{222,6^2 \cdot 1,0 + 78,5^2 \cdot 0,3 + 144,1^2 \cdot 4,2 + 61,7^2 \cdot 0,2 + 82,4^2 \cdot 0,3 + 82,4^2 \cdot 0,8}{1,0 + 0,3 + 4,2 + 0,2 + 0,3 + 0,8}} = 546,7 \text{кВА.}$$

Расчёт эквивалентного тока магистрали:

$$I_{эКВ} = \frac{S_{эКВ}}{\sqrt{3}U}, \text{А.} \quad (2.27)$$

$$I_{эКВ} = \frac{546,7}{\sqrt{3} \cdot 10} = 31,6 \text{А.}$$

Определение сечения провода магистрали по экономической плотности тока

$$F_{эКВ} = \frac{I_{эКВ}}{j_{эК}}, \text{мм}^2. \quad (2.28)$$

$$F_{эКВ} = \frac{31,6}{1,1} = 28,7 \text{мм}^2.$$

Сечения проводов воздушных линий, в соответствии с [1], также должны удовлетворять требованию механической прочности.

Исходя из указанных требований механической прочности, минимальное сечение проводов воздушной линии напряжением 10 кВ на всех магистралях и линейных ответвлениях для данных района по стенке гололёда и по ветровому давлению должно быть не менее 25 мм² [1].

Принимается сечение провода:

- на магистрали – $F_{cm} = 35 \text{ мм}^2$. Выбирается провод марки СИП-3 3х35 с $I_{дон}=165 \text{ А}$ ([1]);

- на отпайках – $F_{cm} = 25 \text{ мм}^2$. Выбирается провод марки СИП-3 3х25 с $I_{дон}=130 \text{ А}$ ([1]).

Расчёт потери напряжения в процентах для каждого участка:

$$\Delta U \% = \frac{S \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100, \% \quad (2.29)$$

для СИП-3 3х35: $r_0=0,85 \text{ Ом/км}$; $x_0=0,403 \text{ Ом/км}$;

для СИП-3 3х25: $r_0=2,06 \text{ Ом/км}$; $x_0=0,405 \text{ Ом/км}$.

По (2.29) для участка ПС-1:

$$\Delta U \%_{ПС-1} = \frac{534400 \cdot 1 \cdot (0,85 \cdot 0,9 + 0,403 \cdot 0,44)}{10000^2} \cdot 100 = 0,44\%..$$

Аналогично производятся расчёты для других участков (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Выбор сечения проводников ВЛ 10 кВ

Участок	S _{расч} , кВА	Длина на участке, км	Марка провода	Потери ΔU%	
				На участке	От ПС
ПС-1	222,6	1,0	СИП-3 3х35	0,44	0,44
1-№1	78,5	0,3	СИП-3 3х25	0,23	0,67
1-2	144,1	4,2	СИП-3 3х35	0,61	1,28
2-№2	61,7	0,2	СИП-3 3х25	0,39	1,67
2-3	82,4	0,8	СИП-3 3х35	0,45	2,12
3-№3	82,4	0,3	СИП-3 3х25	0,08	2,20

2.6 Выбор и проверка сечения проводников воздушных линий 0,4 кВ

Как было указано ранее, в работе проведена реконструкция ВЛ-0,38 кВ, которая выполняется путём замены проводов марки АС на самонесущие изолированные провода (СИП).

Проводится расчет линий 0,38 кВ, отходящих от ПС №1.

ПС №1 снабжает энергией 23 жилых дома 1-го типа, 13 жилых домов 2-го типа, 1 магазин.

От ПС отходят четыре линии:

- первая – к 7 жилым домам 2-го типа;
- вторая – к 6 жилым домам 2-го типа и магазину;
- третья линия – к 12 жилым домам 1-го типа;
- четвертая линия – к 11 жилым домам 1-го типа.

Расчёт производится на примере воздушной линии №1 ПС №1, которая питает 7 жилых домов 2-го типа рассматриваемого посёлка Кош-Карагай Тюменской области.

На расчётной схеме (рисунок 2.3) для потребителей указаны номера по плану (числитель) и полная мощность, кВА (знаменатель).

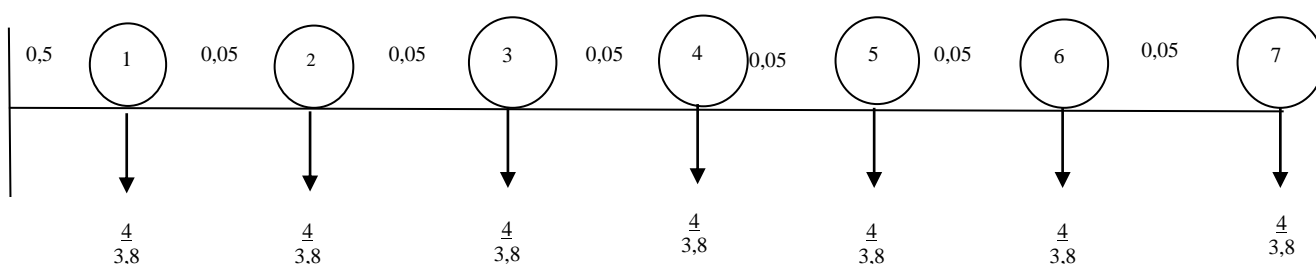


Рисунок 2.3 – Расчетная схема ВЛ1 ПС №1.

Длины участков взяты из плана расположения объектов населенного пункта с намеченными ПС и ВЛ, в котором, для удобства, имеется координатная сетка (графический лист 1).

Расчет эквивалентной мощности:

$$S_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_{\text{уч}i}^2 \cdot l_{\text{уч}i})}{\sum_{i=1}^n l_{\text{уч}i}}}, \text{кВА.} \quad (2.30)$$

$$S_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{3,8^2 \cdot 0,5 + (3,8^2 \cdot 0,05) \cdot 6}{0,5 + 0,05 \cdot 6}} = 3,8 \text{кВА.}$$

Расчёт эквивалентного тока:

$$I_{\text{экв}} = \frac{S_{\text{экв}}}{\sqrt{3}U}, \text{А.} \quad (2.31)$$

$$I_{\text{экв}} = \frac{3,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 5,8 \text{А.}$$

Определение сечения провода по экономической плотности тока [3]:

$$j_{\text{эк}} = 1,3 \text{ А/мм}^2;$$

$$F_{\text{экв}} = \frac{5,8}{1,3} = 4,5 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1А 3x16+1x25:
 $r_0=1,91 \text{ Ом/км}$; $x_0=0,07 \text{ Ом/км}$ [2].

Расчёт потери напряжения в процентах для каждого участка [2]:

$$\Delta U \% = \frac{S \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100, \% \quad (2.32)$$

$$\Delta U \%_{\text{ПС-1}} = \frac{3800 \cdot 0,5 \cdot (0,9 \cdot 1,91 + 0,44 \cdot 0,07)}{144400} \cdot 100 = 0,95\%.$$

Остальные участки равноценны по нагрузке и длинам, поэтому для них:

$$\Delta U\%_{1-7} = \frac{3800 \cdot 0,5 \cdot (0,9 \cdot 1,91 + 0,44 \cdot 0,07)}{144400} \cdot 100 = 0,53\%.$$

Расчёт потери напряжения в процентах от ПС для каждого участка:

$$\text{Участок 1-2: } 0,95 + 0,53 = 1,48 \%;$$

$$\text{Участок 2-3: } 1,48 + 0,53 = 2,01\%;$$

$$\text{Участок 3-4: } 2,01 + 0,53 = 2,54\%;$$

$$\text{Участок 4-5: } 2,54 + 0,53 = 3,07\%;$$

$$\text{Участок 5-6: } 3,07 + 0,53 = 3,60\%;$$

$$\text{Участок 6-7: } 3,60 + 0,53 = 4,13\%.$$

Все приведенные выше результаты расчетов по ВЛ1 ПС №1 сводятся в таблицу 2.7.

Таблица 2.7. - Результаты расчета ВЛ 1 ПС №1

Участок	Потребитель	S _д , кВА	cosφ	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	4	3,8	0,9	0,5	СИП-1А 3x16+ 1x25	0,95	0,95
1-2	4	3,8	0,9	0,05		0,53	1,48
2-3	4	3,8	0,9	0,05		0,53	2,01
3-4	4	3,8	0,9	0,05		0,53	2,54
4-5	4	3,8	0,9	0,05		0,53	3,07
5-6	4	3,8	0,9	0,05		0,53	3,60
6-7	4	3,8	0,9	0,05		0,53	4,13
S _{дΣ} , кВА		11,4					

Суммарная полная нагрузка ВЛ 1 ПС №1:

$$S_{\Sigma} = S_{\partial} \cdot n \cdot K_{\partial}, \text{кВА}, \quad (2.33)$$

где S_д – полная нагрузка потребителя, кВА;

n – количество однотипных потребителей;

K_о – коэффициент одновременности [2].

$$S_{\Sigma} = 3,8 \cdot 7 \cdot 0,43 = 11,4 \text{кВА}.$$

Аналогично производится расчет остальных линий ПС №1.

Результаты сводятся в таблицы 2.9 – 2.11.

$$\text{ВЛ 2 ПС №1: } S_{\text{экв}} = 15,2 \text{ кВА}; \quad I_{\text{экв}} = \frac{15,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 23,1 \text{ А}; \quad F_{\text{экв}} = \frac{23,1}{1,3} = 17,8 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1А 3x16+1x25:
 $r_0=1,91 \text{ Ом/км}; x_0=0,07 \text{ Ом/км}$ [2].

Все приведенные выше результаты расчетов по ВЛ2 ПС №1 сводятся в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 - Результаты расчета ВЛ 2 ПС №1

Участок	Номер потребителя	$S_{\text{д}}$, кВА	$\cos\varphi$	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	8	19,78	0,9	0,070	СИП-1А 3x16 +1x25	0,67	0,67
1-2	4	3,8	0,9	0,030		0,31	0,98
2-3	4	3,8	0,9	0,030		0,31	1,29
3-4	4	3,8	0,9	0,030		0,31	1,60
4-5	4	3,8	0,9	0,030		0,31	1,91
5-6	4	3,8	0,9	0,030		0,31	2,22
6-7	4	3,8	0,9	0,030		0,31	2,53
$S_{\text{д}\Sigma}$, кВА		29,6					

$$S_{\text{д}\Sigma} = (19,78 \cdot 1) + (3,8 \cdot 6 \cdot 0,43) = 29,6 \text{ кВА}.$$

$$\text{ВЛ 3 ПС №1: } S_{\text{экв}} = 4,3 \text{ кВА}; \quad I_{\text{экв}} = \frac{4,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,6 \text{ А}; \quad F_{\text{экв}} = \frac{6,6}{1,3} = 5,1 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1А 3x16+1x25:
 $r_0=1,91 \text{ Ом/км}; x_0=0,07 \text{ Ом/км}$.

Все расчеты сводятся в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 - Результаты расчета ВЛ 3 ПС №1

Участок	Номер потребителя	S _д , кВА	cosφ	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	1	4,3	0,9	0,180	СИП-1А 3x16 +1x25	1,27	1,27
1-2	1	4,3	0,9	0,030		0,37	1,64
2-3	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,01
3-4	1	4,3	0,9	0,035		0,37	2,38
4-5	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,75
5-6	1	4,3	0,9	0,030		0,37	3,12
6-7	1	4,3	0,9	0,030		0,37	3,49
7-8	1	4,3	0,9	0,030		0,37	3,86
8-9	1	4,3	0,9	0,035		0,37	4,23
9-10	1	4,3	0,9	0,030		0,37	4,60
10-11	1	4,3	0,9	0,030		0,37	4,97
11-12	1	4,3	0,9	0,030		0,37	5,34
S _{дΣ} , кВА		19,6					

$$S_{\text{о}Σ} = (4,3 \cdot 12 \cdot 0,38) = 19,6 \text{ кВА.}$$

$$\text{ВЛ 4 ПС №1: } S_{\text{э}кв} = 4,3 \text{ кВА; } I_{\text{э}кв} = \frac{4,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,6 \text{ А; } F_{\text{э}кв} = \frac{6,6}{1,3} = 5,1 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1А 3x16+1x25:
r₀=1,91 Ом/км; x₀=0,07 Ом/км. Все расчеты сводятся в таблицу 2.10.

Таблица 2.10 - Результаты расчета ВЛ 4 ПС №1

Участок	Номер потребителя	S _д , кВА	cosφ	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	1	4,3	0,9	0,150	СИП-1А 3x16+ 1x25	1,18	1,18
1-2	1	4,3	0,9	0,030		0,37	1,55
2-3	1	4,3	0,9	0,030		0,37	1,92
3-4	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,29
4-5	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,66
5-6	1	4,3	0,9	0,030		0,37	3,03
6-7	1	4,3	0,9	0,150		0,48	3,51
7-8	1	4,3	0,9	0,150		0,48	3,99
8-9	1	4,3	0,9	0,150		0,48	4,47
9-10	1	4,3	0,9	0,150		0,48	4,95
10-11	1	4,3	0,9	0,150		0,48	5,43

$S_{д\Sigma}$, кВА	17,9	
---------------------	------	--

$$S_{о\Sigma} = (4,3 \cdot 11 \cdot 0,38) = 17,9 \text{ кВА}.$$

$$S_{ТП} = (S_{л1} + S_{л2} + S_{л3} + S_{л4}) K_o = (11,4 + 29,6 + 19,6 + 17,9) 0,9 = 78,5 \text{ кВА}.$$

Далее аналогичным образом проводится расчет линий 0,38 кВ, отходящих от ПС №2.

ПС №2 снабжает энергией 25 жилых домов 1-го типа, школу, административное здание, медпункт, кафе, детский сад.

От ПС отходят четыре воздушных линии.

Расчёт линий, отходящих от ПС №2 производится аналогично расчёту линий, отходящих от ПС №1.

Результаты расчётов приведены в табл. 2.12 – 2.15.

$$\text{ВЛ 1 ПС №2: } S_{\text{экр}} = 4,3 \text{ кВА}; \quad I_{\text{экр}} = \frac{4,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,6 \text{ А}; \quad F_{\text{экр}} = \frac{6,6}{1,3} = 5,1 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1А 3x16+1x25: $r_0=1,91$ Ом/км; $x_0=0,07$ Ом/км. Все расчеты сводятся в таблицу 2.11.

Таблица 2.11 - Результаты расчета ВЛ 1 ПС №2

Участок	Номер потребителя	$S_{д}$, кВА	$\cos\phi$	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	1	4,3	0,9	0,800	СИП-1А 3x16 + 1x25	1,21	1,21
1-2	1	4,3	0,9	0,120		0,48	1,69
2-3	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,06
3-4	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,43
4-5	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,80
5-6	1	4,3	0,9	0,080		0,42	3,22
6-7	1	4,3	0,9	0,030		0,37	3,59
7-8	1	4,3	0,9	0,030		0,37	3,96
8-9	1	4,3	0,9	0,030		0,37	4,33
$S_{д\Sigma}$, кВА		14,7					

$$S_{о\Sigma} = (4,3 \cdot 9 \cdot 0,38) = 14,7 \text{ кВА}.$$

$$\text{ВЛ 2 ПС №2: } S_{\text{экр}} = 4,6 \text{ кВА}; \quad I_{\text{экр}} = \frac{4,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 7,1 \text{ А}; \quad F_{\text{экр}} = \frac{7,1}{1,3} = 5,5 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1А 3x16 +1x25:
 $r_0=1,91 \text{ Ом/км}; x_0=0,07 \text{ Ом/км}.$

Все расчеты сводятся в таблицу 2.12.

Таблица 2.12 - Результаты расчета ВЛ 2 ПС №2

Участок	Номер потребителя	$S_{\text{д}}$, кВА	cosφ	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	3	4,8	0,8	0,80	СИП-1А 3x16 +1x25	0,525	0,525
1-2	5	3,2	0,8	0,05		0,035	0,560
$S_{\text{дΣ}}$, кВА		11,2					

$$S_{\text{оΣ}} = (4,8 + 3,2) \cdot 1,73 = 11,2 \text{ кВА}.$$

$$\text{ВЛ 3 ПС №2: } S_{\text{экр}} = 32,8 \text{ кВА}; \quad I_{\text{экр}} = \frac{32,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 50,5 \text{ А}; \quad F_{\text{экр}} = \frac{50,5}{1,3} = 38,5 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-2 3x35+1x50:
 $r_0=0,87 \text{ Ом/км}; x_0=0,72 \text{ Ом/км}.$

Все расчеты сводятся в таблицу 2.13.

Таблица 2.13 - Результаты расчета ВЛ 3 ПС №2

Участок	Номер потребителя	$S_{\text{д}}$, кВА	cosφ	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	6	13,2	0,8	0,300	СИП-2 3x35 +1x50	1,62	1,62
1-2	2	43,6	0,8	0,300		0,91	2,53
2-3	7	9,1	0,8	0,300		0,84	3,37
3-4	1	4,3	0,9	0,050		0,42	3,79
4-5	1	4,3	0,9	0,030		0,42	4,21
5-6	1	4,3	0,9	0,030		0,42	4,63
6-7	1	4,3	0,9	0,030		0,42	5,05
$S_{\text{дΣ}}$, кВА		31,8					

$$S_{\text{оΣ}} = ((4,3 \cdot 4) + 43,6 + 13,2) \cdot 0,43 = 31,8 \text{ кВА}.$$

$$\text{ВЛ 4 ПС №2: } S_{\text{экв}} = 4,3 \text{ кВА}; \quad I_{\text{экв}} = \frac{4,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,6 \text{ А}; \quad F_{\text{экв}} = \frac{6,6}{1,3} = 5,1 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1А 3x16+1x25:
 $r_0=1,91 \text{ Ом/км}; x_0=0,07 \text{ Ом/км}.$

Все расчеты сводятся в таблицу 2.14.

Таблица 2.14 - Результаты расчета ВЛ 4 ПС №2

Участок	Номер потребителя	S _д , кВА	cosφ	Длина на участке, км	Марка провода	У%	
						на участке	от ПС
ПС-1	1	4,3	0,9	0,055	СИП-1А 3x16 + 1x25	1,27	1,27
1-2	1	4,3	0,9	0,300		0,63	1,90
2-3	1	4,3	0,9	0,300		0,63	2,53
3-4	1	4,3	0,9	0,300		0,63	3,16
4-5	1	4,3	0,9	0,300		0,63	3,79
S _{дΣ} , кВА		10,8					

$$S_{\text{дΣ}} = 4,3 \cdot 5 \cdot 0,5 = 10,8 \text{ кВА}.$$

$$S_{\text{III}} = (S_{\text{л1}} + S_{\text{л2}} + S_{\text{л3}} + S_{\text{л4}}) K_0 = (14,7 + 11,2 + 31,8 + 10,8) 0,9 = 61,7 \text{ кВА}.$$

Расчет линий 0,38 кВ, отходящих от ПС №3, выполняется аналогично.

ПС №3 снабжает 32 жилых дома 1-го типа, 10 жилых домов 2-го типа, 2 магазина.

От данной ПС непосредственно отходят четыре воздушных линии, их расчёт производится аналогично расчёту линий, отходящих от ПС №1, №2 (табл. 2.16 – 2.19).

$$\text{ВЛ 1 ПС №3: } S_{\text{экв}} = 7,4 \text{ кВА}; \quad I_{\text{экв}} = \frac{7,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 11,4 \text{ А}; \quad F_{\text{экв}} = \frac{11,4}{1,3} = 8,8 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1А 3x16+1x25:
 $r_0=1,91 \text{ Ом/км}; x_0=0,07 \text{ Ом/км}.$

Все расчеты сводятся в таблицу 2.15.

Таблица 2.15 - Результаты расчета ВЛ 1 ПС №3

Участок	Номер потребителя	S _д , кВА	cosφ	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	1	4,3	0,9	0,800	СИП-1А 3x16+1x25	0,63	0,63
1-2	1	4,3	0,9	0,030		0,37	1,00
2-3	1	4,3	0,9	0,030		0,37	1,37
3-4	1	4,3	0,9	0,030		0,37	1,74
4-5	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,11
5-6	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,48
6-7	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,85
7-8	8	9,7	0,8	0,080	СИП-1А 3x16+1x25	0,48	3,33
8-9	1	4,3	0,9	0,080		0,48	3,81
9-10	1	4,3	0,9	0,030		0,37	4,18
10-11	1	4,3	0,9	0,030		0,37	4,55
11-12	1	4,3	0,9	0,030		0,37	4,92
12-13	1	4,3	0,9	0,030	0,37	5,29	
S _{дΣ} , кВА		19,6					

$$S_{д\Sigma} = (4,3 \cdot 12 + 9,7) \cdot 0,32 = 19,6 \text{ кВА.}$$

$$\text{ВЛ 2 ПС №3: } S_{\text{экр}} = 4,3 \text{ кВА; } I_{\text{экр}} = \frac{4,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,6 \text{ А; } F_{\text{экр}} = \frac{6,6}{1,3} = 5,1 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1 3x16+1x25:
r₀=1,91 Ом/км; x₀=0,07 Ом/км.

Все расчеты сводятся в таблицу 2.16.

Таблица 2.16 - Результаты расчета ВЛ 2 ПС №3

Участок	Номер потребителя	S _д , кВА	cosφ	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	1	4,3	0,9	0,800	СИП-1 3x16+1x25	0,63	0,63
1-2	1	4,3	0,9	0,030		0,37	1,00
2-3	1	4,3	0,9	0,030		0,37	1,37
3-4	1	4,3	0,9	0,030		0,37	1,74
4-5	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,11
5-6	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,48
6-7	1	4,3	0,9	0,030		0,37	2,85
7-8	1	4,3	0,9	0,080		0,48	3,33
8-9	1	4,3	0,9	0,080		0,48	3,81

Продолжение таблицы 2.16

Участок	Номер потребителя	S _д , кВА	cosφ	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
9-10	1	4,3	0,9	0,030		0,37	4,18
10-11	1	4,3	0,9	0,030		0,37	4,55
11-12	1	4,3	0,9	0,030		0,37	4,92
S _{дΣ} , кВА		19,6					

$$S_{\text{о}\Sigma} = 4,3 \cdot 12 \cdot 0,38 = 19,6 \text{ кВА.}$$

$$\text{ВЛ 3 ПС №3: } S_{\text{экв}} = 7,1 \text{ кВА}; \quad I_{\text{экв}} = \frac{7,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 10,9 \text{ А}; \quad F_{\text{экв}} = \frac{10,9}{1,3} = 8,4 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1А 3x16 +1x25:
 $r_0=1,91 \text{ Ом/км}; x_0=0,07 \text{ Ом/км.}$

Все расчеты сводятся в таблицу 2.17.

Таблица 2.17 - Результаты расчета ВЛ 3 ПС №3

Участок	Номер потребителя	S _д , кВА	cosφ	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	1	4,3	0,9	0,400	СИП-1А 3x16 +1x25	0,72	0,72
1-2	1	4,3	0,9	0,400		0,72	1,44
2-3	1	4,3	0,9	0,400		0,72	2,16
3-4	1	4,3	0,9	0,400		0,72	2,88
4-5	8	9,7	0,8	0,400		0,66	3,54
5-6	4	3,8	0,9	0,200		0,41	3,95
6-7	4	3,8	0,9	0,030		0,21	4,16
7-8	4	3,8	0,9	0,030		0,21	4,37
8-9	4	3,8	0,9	0,030		0,21	4,58
9-10	4	3,8	0,9	0,030		0,21	4,79
10-11	4	3,8	0,9	0,030		0,21	5,00
11-12	4	3,8	0,9	0,030		0,21	5,21
12-13	4	3,8	0,9	0,030		0,21	5,42
13-14	4	3,8	0,9	0,030		0,21	5,63
14-15	4	3,8	0,9	0,030		0,21	5,84
S _{дΣ} , кВА		32,5					

$$S_{\text{о}\Sigma} = (4,3 \cdot 4 + 3,8 \cdot 10 + 9,7) \cdot 0,5 = 32,5 \text{ кВА.}$$

$$\text{ВЛ 4 ПС №3: } S_{\text{экс}} = 4,3 \text{ кВА}; \quad I_{\text{экс}} = \frac{4,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,6 \text{ А}; \quad F_{\text{экс}} = \frac{6,6}{1,3} = 5,1 \text{ мм}^2.$$

Принимается сечение проводов на всех участках СИП-1А 3x16+1x25:
 $r_0=1,91 \text{ Ом/км}$; $x_0=0,07 \text{ Ом/км}$.

Все указанные выше расчеты и проверки для ВЛ4 ПС №3 сводятся в таблицу 2.18.

Таблица 2.18 - Результаты расчета ВЛ 4 ПС №3

Участок	Номер потребителя	$S_{\text{л}}$, кВА	$\cos\varphi$	Длина на участке, км	Марка провода	U%	
						на участке	от ПС
ПС-1	1	4,3	0,9	0,400	СИП-1А 3x16+1x25	0,72	0,72
1-2	1	4,3	0,9	0,400		0,72	1,44
2-3	1	4,3	0,9	0,400		0,72	2,16
3-4	1	4,3	0,9	0,400		0,72	2,88
$S_{\text{л}\Sigma}$, кВА		10,7					

$$S_{\text{о}\Sigma} = 4,3 \cdot 4 \cdot 0,62 = 10,7 \text{ кВА}.$$

$$S_{\text{ТП}} = (S_{\text{л}1} + S_{\text{л}2} + S_{\text{л}3} + S_{\text{л}4}) K_{\text{о}} = (19,6 + 19,6 + 32,5 + 10,7) 0,9 = 82,4 \text{ кВА}.$$

Для всех линий ПС №1, №2, №3 значения потерь электроэнергии не превышает допустимых норм [1].

2.7 Выбор электрических аппаратов для защиты ВЛ-0,4 кВ

Для защиты всех ВЛ-0,4 кВ, отходящих от ПС-10/0,4 кВ, в шкафах напряжением 0,4 кВ на указанной ПС устанавливаются автоматические воздушные выключатели (автоматы).

Условия, по которым проводится непосредственный выбор автоматов, приведены ниже [2].

Номинальное напряжение автомата

$$U_{\text{а.н.}} \geq U_{\text{с}}. \quad (2.34)$$

Номинальный ток теплового расцепления

$$I_{т.р.н.} \geq K_H I_{наг}, \quad (2.35)$$

где K_H – коэффициент надёжности ($K_H = 1,1 - 1,3$).

Предельно допустимый ток отключения автомата

$$I_{а.пр.} \geq I_{к.маx}^{(3)}, \quad (2.36)$$

где $I_{к.маx}^{(3)}$ – максимальное значение тока при трёхфазном к.з., А:

- для трансформатора ТМ-100/10 с $S_{ном} = 100 \text{ кВА}$

$$I_{ном} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,3 \text{ А};$$

$$I_{к.маx}^{(3)} o / e = \frac{1,05}{u_{к.о/e}}. \quad (2.37)$$

$$I_{к.маx}^{(3)} o / e = \frac{1,05}{0,047} = 22,3;$$

$$I_{к.маx}^{(3)} = 22,3 I_{ном}, \text{ А}. \quad (2.38)$$

Ток трёхфазного короткого замыкания в сети 0,4 кВ за трансформатором будет равен

$$I_{к.маx}^{(3)} = 22,3 \cdot 144,3 = 3217,9 \text{ А}.$$

Для обеспечения селективной работы

$$I_{с.о.} = 1,25 I_{наг}, \quad (2.39)$$

где $I_{наг}$ – расчетный ток нагрузки.

Ток уставки срабатывания электромагнитного (ЭМ) расцепителя

$$I_{э.р.у.} \geq I_{с.о.}. \quad (2.40)$$

Коэффициент чувствительности отсечки (ЭМ-расцепителя):

$$K_{ч.о.} = \frac{I_k^{(2)}}{I_{э.р.у}} \geq 1,1.$$

Токи КЗ для трансформатора ТМ-100/10 на стороне 0,4 кВ [5]

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^{(3)}, \text{кА}; \quad (2.41)$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 3,2 = 2,8 \text{кА};$$

$$K_{ч.о.} = \frac{I_k^{(2)}}{I_{э.р.у}}. \quad (2.42)$$

$$K_{ч.о.} = \frac{2800}{960} = 2,9 > 1,1.$$

Данные об выбранных автоматах, устанавливаемых на всех ПС-10/0,4 кВ для защиты ВЛ-0,4 кВ [3], сведены в таблицу 2.19.

Таблица 2.19 – Результаты выбора автоматических выключателей для защиты отходящих ВЛ-0,4 кВ

№ ПС	№ линии	S _{рас} , кВА	I _{рас} , А	Тип автомата	I _{ном.} , А	I _{т.р.} , А	I _{э.р.у.} , А	I _{пред. откл.} , кА
1	1	11,4	19,3	Siemens 3vl 100	100	25	250	75
	2	29,6	50,1	Siemens 3vl 100	100	63	630	75
	3	19,6	33,2	Siemens 3vl 100	100	40	400	75
	4	17,9	30,3	Siemens 3vl 100	100	40	400	75
2	1	14,7	24,9	Siemens 3vl 100	100	25	250	75
	2	11,2	18,9	Siemens 3vl 100	100	25	250	75
	3	31,8	53,8	Siemens 3vl 100	100	63	630	75
	4	10,8	18,3	Siemens 3vl 100	100	25	250	75
3	1	19,6	33,2	Siemens 3vl 100	100	40	400	75
	2	19,6	33,2	Siemens 3vl 100	100	40	400	75
	3	32,5	55,0	Siemens 3vl 100	100	63	630	75
	4	10,7	18,1	Siemens 3vl 100	100	25	250	75

2.8 Выбор электрических аппаратов для защиты ВЛ-10 кВ

Для защиты ВЛ-10 кВ в системе электроснабжения посёлка используются высоковольтные выключатели. Сегодня в РУ-10 кВ на ПС – 110/10 кВ «Равнец» для защиты и коммутации линий напряжением 10 кВ в ячейках РУ-10 кВ установлены устаревшие масляные выключатели типа ВК-10/1000, обеспечивающие защиту и коммутацию потребителей линий напряжением 10 кВ.

В работе предлагается заменить их на вакуумные выключатели ВВ/TEL-10, что повысит надёжность системы электроснабжения посёлка Кош-Карагай Тюменской области, а также в значительной степени снизит затраты на обслуживание и ремонт.

Выбор выключателей производится [11,18]:

- по номинальному значению напряжения

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (2.43)$$

- по номинальному значению тока

$$I_{раб.макс} \leq I_n; \quad (2.44)$$

- проверка на способность отключать симметричный ток короткого замыкания

$$I_{пт} \leq I_{отк.н}, \quad (2.45)$$

где $I_{пт}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов;

$I_{отк.н}$ – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА;

- проверка выключателя на способность отключить асимметричный ток КЗ

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (2.46)$$

где $i_{a\tau}$ – значение апериодической составляющей тока КЗ;

β_n – значение относительного содержания апериодической составляющей ТКЗ;

τ – минимальное время от КЗ до расхождения контактов, определяется так:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \text{ с}, \quad (2.47)$$

где $t_{з.мин}$ – минимальное время действия релейной защиты, с;

$t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя, с;

- проверка на электродинамическую устойчивость [2,11,18]:

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (2.48)$$

где $i_{np.c}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ;

i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя;

- проверка на термическую устойчивость [11,18]

$$B_{\kappa} \leq I_T^2 t_T; \quad (2.49)$$

$$B_{\kappa} = I_{\kappa}^2 (t_{отк} + T_a), \quad (2.50)$$

где B_{κ} – тепловой импульс по расчёту;

I_T – предельный ток термической устойчивости;

t_T – длительность протекания тока термической устойчивости, с.

По приведённым выше условиям проводится выбор высоковольтного выключателя 10 кВ для защиты и коммутации ВЛ 10 кВ Л 13-6. Максимальный рабочий ток линии 10 кВ рассчитан ранее и равен эквивалентному току магистрали $I_{раб.макс} = 31,6$ А. Ток КЗ на стороне 0,4 кВ рассчитан при выборе автоматов. Соответственно, на стороне 10 кВ ток трёхфазного КЗ будет равен

$$I_{\kappa \max}^{(3)} = \frac{3430}{\frac{10}{0,4}} = 137,2 \text{ A.}$$

Выбирается вакуумный высоковольтный выключатель типа ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 [11] и производится его проверка.

По номинальному значению напряжения

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} = U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$$

По номинальному значению току

$$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 31,6 \text{ А.}$$

По отключающей способности токов КЗ

$$I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА} > I_{\text{кз}} = 137,2 \text{ А.}$$

По величине ударного тока КЗ

$$i_{\text{пр.скв}} = 52 \text{ кА} > i_{\text{ук1}} = 2,2 \text{ кА.}$$

Проверка на термическую стойкость

$$I_t^2 t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с} > I_k^2 (t_{\text{откл}} + T_a) = 2,2^2 \cdot (5 + 0,02) = 71,8 \text{ кА}^2 \text{ с.}$$

Проверка на способность к отключению асимметричного тока КЗ:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{откл}} (1 + \beta_{\text{ном}} / 100) = \sqrt{2} \cdot 20 (1 + 0,25) = 35 > \sqrt{2} \cdot 2,2 \cdot (1 + e^{\frac{-(0,05 + 0,1)}{0,007}}) = 9,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

В результате проведённых проверок, установлено, что выключатель типа ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 удовлетворяет поставленным условиям.

3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда

3.1 Мероприятия по технике безопасности и охране труда при выполнении работ

Согласно [18-20], при эксплуатации и ремонте воздушных линий напряжением 10 кВ и 0,4 кВ следует неукоснительно соблюдать меры безопасности.

Работы на воздушных линиях электропередач в отношении мер безопасности, согласно [19-20], имеют следующие категории:

- работы на отключенных воздушных линиях вдали от других действующих линий;
- работы на отключенной линии, расположенной вблизи других действующих линий;
- работы на линии, находящейся под напряжением (в том числе при отключении одной цепи многоцепной линии или одной фаз при пофазном ремонте).

Согласно требованиям [19-20], перед началом работ в электроустановках необходимо провести организационные и технические мероприятия по технике безопасности.

К организационным мероприятиям относятся [19-20]:

- выдача нарядов и распоряжений для проведения работ в электроустановках;
- назначение лиц, отвечающих за безопасное проведение работ (руководителя работ, допускающего, наблюдающего, членов бригады);
- непосредственное проведение инструктажей (вводного, на рабочем месте, плановых, внеплановых);
- допуск рабочей бригады к работе;
- надзор во время выполнения работ бригадой;
- оформление перерывов в работе;
- перевод на другое рабочее место (при необходимости);

- окончание работ в электроустановках.

К техническим мероприятиям относятся [19-20]:

- производство необходимых коммутационных переключений;

- принять меры, которые препятствуют самопроизвольному включению коммутационных аппаратов путём применения их блокировок, а также расшивке цепи, отсоединения кабельных и воздушных вводов, снятием отдельных коммутационных аппаратов и (или) их приводов (ключей) и т.д.;

- вывесить запрещающие плакаты на приводах коммутационных аппаратов и ключах управления;

- убедиться в отсутствии напряжения на токоведущих частях путём использования технических средств (указателей напряжения и т.д.);

- наложить переносное заземление там, где это необходимо (на токоведущих частях электроустановок). В случае, если на электрооборудовании установлены заземляющие ножи, необходимо их включить. В этом случае переносное заземление разрешается не устанавливать;

- оградить рабочее место, а также токоведущие части, оставшиеся под напряжением;

- вывесить плакаты по технике безопасности (предписывающие и предупреждающие).

Необходимо помнить, что в электроустановках всех типов и классов напряжения должен быть обеспечен видимый разрыв.

В электроустановках до 1 кВ его обеспечивают рубильники (при их отключении) и предохранители (при их снятии), а в сетях выше 1 кВ – разъединители (при их отключении) и предохранители (при их снятии) либо временно демонтируют на концевых присоединениях питающие проводники.

Кроме всего прочего, при выполнении работ в электроустановках необходимо пользоваться специальными защитными средствами: спец. одеждой и обувью (выдаётся работодателем), спец. инструментами (обязательно должны быть поверены), спец. приспособлениями

индивидуальной защиты (диэлектрические коврики, подставки, перчатки, каски и др.).

До выполнения работ в электроустановках допускаются лица, достигшие 18 летнего возраста и прошедшие соответствующее обучение согласно требований [19-20].

При этом всем прошедшим обучение присваивается соответствующая группа допуска по электробезопасности.

Всего существует пять групп по электробезопасности. Каждая последующая группа включает в себя знание предыдущей, а также новые знания и навыки, присущие данной группе.

При назначении ответственных за безопасное проведение работ обязательно должна учитываться группа по электробезопасности (не ниже установленной).

Также при работе в электроустановках необходимыми являются навыки оказания первой медицинской помощи до приезда врача.

Каждый член бригады должен владеть навыками выполнения искусственного дыхания, непрямого массажа сердца, освобождения пострадавшего от электрического напряжения и т.д.

Все данные аспекты являются строго обязательными к выполнению при работе в электроустановках.

Для обеспечения безопасности выполнения работ воздушная линия непосредственно подлежит заземлению, также на месте выполняемых работ устанавливается заземление.

Кроме того, дополнительно исключается возможность прикосновения к проводам и изоляторам инструментами или приспособлениями.

Если работы ведутся в непосредственной близости к проводам воздушных линий, то устанавливают комплект заземлений на всех трех фазах указанной линии как можно ближе к месту работ.

При монтаже переходов сооружаемой линии через действующую воздушную линию напряжением до 1000 В, её необходимо отключить и заземлить.

В виде исключения допускаются работы без непосредственного отключения линии, если над пересекающимися проводами на специальных опорах, установленных с двух сторон действующей линии, закреплены защитный канат или деревянная рогатка, а перетягиваемые через них провода заземлены.

При этом работать необходимо только в диэлектрических перчатках.

Монтаж проводов на переходе через воздушную линию напряжением более 1000 В допускается только после отключения и заземления указанной воздушной линии [19-20].

Также при проведении любого вида работ на воздушных линиях, вне зависимости от сложности, следует неукоснительно соблюдать положения [18, 19].

Технические масла, используемые в силовых трансформаторах, со временем утрачивают свои диэлектрические и другие технологические свойства.

Под действием атмосферного воздуха, в результате взаимодействия с материалами в трансформаторе в маслах накапливаются влага, продукты окисления, различные загрязнения, примеси.

Утратившее свои характеристики масло подлежит непосредственной замене [19-20].

Перед организацией, эксплуатирующей силовые масляные трансформаторы, стоит задача утилизации отработанных масел, либо их дальнейшая очистка.

Второй способ может быть экономически более выгоден при наличии по близости производственной базы для регенерации отработанных масел.

Различные способы очистки отработанного масла являются наукоемкими технологическими процессами, однако в некоторых случаях

это является дешевле утилизации выработавшего свой ресурс старого масла и приобретение нового [19-20].

После очистки или регенерационной переработки из отработанных масел получают либо трансформаторное масло для дальнейшего использования, либо другие виды машинного масла: автомобильные масла, гидравлические, различные виды смазок.

При проектировании ВЛ должны выполняться требования нормативных документов, регламентирующих уровень воздействия ВЛ на окружающую среду, жизнедеятельность и здоровье населения, применяя соответствующее конструктивные и проектные решения, а при необходимости, специальные мероприятия, обеспечивающие снижение воздействий ВЛ до безопасных значений, требуемых действующими нормами [19-20].

При работе подстанций, рассматриваемых в работе, источниками шумов являются вентиляторы охлаждения трансформаторов [18].

Для предотвращения распространения шумов, генерируемых трансформаторами, при проектировании подстанций предусматриваются шумозащитные ограждения, которые в обязательном порядке устанавливаются на ПС, расположенных в жилых зонах и уровень шума от которых превышает допустимые нормы на границе ПС.

В работе разработана электрическая сеть напряжением 10/0,4 кВ.

Эти классы напряжения не оказывает существенного влияния на человека и живые организмы [18].

ВЛ, выполненные с использованием изолированных проводов марки СИП, обеспечивают безопасность птицам, акустический шум отсутствует, снижается опасность обрыва провода.

В работе территории, отведенные под строительство трансформаторных подстанций, расположены далеко от сельскохозяйственных угодий, лесных массивов.

При этом соблюдаются нормативные расстояния расположения ПС-10/0,4 кВ и ВЛ от жилых домов и других помещений.

3.2 Расчёт заземления контура заземления ТП-10/0,4 кВ

Производится расчёт контура заземления ТП – 10/0,4 кВ системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области согласно методике [19].

Принимаются в качестве вертикальных заземлителей (электродов) стальные стержни диаметром 16 мм и длиной 2 м.

Верхние концы электродов погружаются в землю на 0,5 м.

Примерное расстояние между вертикальными электродами в работе принимается 4 м.

Тип почвы в месте сооружения контура заземления – суглинок.

Удельные значения сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей [19]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (3.1)$$

$$\rho_{p.в} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.в}, \quad (3.2)$$

где $\rho_{y\delta}$ – справочное нормируемое значение удельного сопротивления грунта [19];

$K_{n.z}$ и $K_{n.в}$ – справочное нормируемое значение коэффициентов горизонтальных и вертикальных электродов [13].

Как было указано в первом разделе, сопротивление грунта не превышает значения 100 Ом·м.

В работе для проведения расчётов принимается максимальное значение, равное 100 Ом·м.

По условиям (3.1) и (3.2)

$$\rho_{p.z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

$$\rho_{p.в} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Значение сопротивления растеканию стержневого вертикального электрода [19]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \quad (3.3)$$

где l - длина электрода, м;

d - внешний диаметр электрода, м;

t – принимаемое расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,016} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 69,53 \text{ Ом.}$$

Число вертикальных заземлителей (электродов) по [19]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{ шт.}, \quad (3.4)$$

где $K_{u.e}$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей (электродов) без учета влияния горизонтальных электродов при их размещении по контуру, [19].

$$N = \frac{69,53}{0,66 \cdot 4} = 26,34 \text{ шт.}$$

Принимается $N = 27$ шт.

Расчетное значение сопротивления растеканию горизонтальных электродов [19]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.z} \cdot 2\pi \cdot l_z} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot t}, \text{ Ом}, \quad (3.5)$$

где $K_{u.z}$ – нормируемое значение коэффициента использования горизонтальных соединительных электродов в контуре из вертикальных электродов [19];

l – суммарная длина горизонтальных электродов, м;

t – расстояние до поверхности земли, м;

b – ширина полосы, м.

$$R_r = \frac{200}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 26,17 \text{ Ом.}$$

Уточненное сопротивление вертикальных электродов с учётом величины нормируемого значения сопротивления [19]

$$R_{г.з.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом.} \quad (3.6)$$

$$R_{г.з.} = \frac{26,17 \cdot 4}{26,17 - 4} = 4,72 \text{ Ом.}$$

Уточненное количество вертикальных электродов с учётом коэффициента использования вертикальных электродов [19]:

$$N = \frac{R_B}{K_{и.е} + R_B}, \text{ шт,} \quad (3.7)$$

$$N = \frac{69,53}{0,66 + 4,72} = 24,15 \text{ шт.}$$

Окончательно принимается в проектируемом контуре заземления ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области, 25 штук вертикальных электродов, расположение – по периметру трансформаторной подстанции.

Рассчитывается сопротивление вертикальных заземлителей (электродов) проектируемого контура заземления ТП – 10/0,4 кВ системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области:

$$R_{г.е} = \frac{R_B}{K_{и.е} \cdot N}, \text{ Ом.} \quad (3.8)$$

$$R_{г.е} = \frac{69,53}{0,66 \cdot 25} = 4,56 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление заземлителей (электродов) контура заземления ТП – 10/0,4 кВ системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области определяется таким образом:

$$R_{\text{общ.}} = \frac{R_B \cdot R_T}{R_B + R_T}, \text{ Ом.} \quad (3.9)$$

$$R_{\text{общ.}} = \frac{4,56 \cdot 26,17}{4,56 + 26,17} = 3,88 \text{ Ом.}$$

Полученное значение сопротивления проектируемого контура заземления меньше предельно допустимого нормируемого значения 4 Ом, значит, спроектированный контур заземления ТП – 10/0,4 кВ системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области удовлетворяет необходимым требованиям и положениям [1,19].

Конструктивное выполнение спроектированного заземляющего контура ТП – 10/0,4 кВ системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области приведено на графическом листе 6.

Заключение

В результате выполнения работы проведена реконструкция воздушных линий 0,4-10 кВ населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области путём замены проводов марки АС на современные надёжные и безопасные провода марок СИП.

При этом для реконструкции ВЛ напряжением 10 кВ в результате проведения расчётов и проверок обосновано применение проводов марки СИП-3, для ВЛ напряжением 0,4 кВ – проводов марки СИП-1А.

Для достижения поставленной цели в работе приведены теоретические основы проектирования систем электроснабжения, на основании чего обоснована и выбрана необходимая схема электроснабжения потребителей посёлка Кош-Карагай Тюменской области.

Произведён расчет электрических нагрузок потребителей посёлка Кош-Карагай Тюменской области.

На основании полученных данных расчёта электрических нагрузок, произведён выбор:

- количества и расположения трансформаторных подстанций населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области (ПС-10/0,4 кВ),
- мощности и количества силовых трансформаторов на данных подстанциях, - электрических схем сети,
- выбор электрооборудования и сечения проводников линий.

Произведена реконструкция трансформаторных подстанций с заменой морально устаревших и изношенных ПС посёлка Кош-Карагай Тюменской области на современные комплектные ПС типа КТПТ-ВВ-100/10/0,4.

Произведен расчет заземления трансформаторных подстанций ПС-10/0,4 кВ системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области.

Произведен выбор электрических аппаратов для защиты ВЛ -0,4 кВ и 10 кВ.

Рассмотрены вопросы техники безопасности при выполнении работ на воздушных линиях электропередачи напряжением 10 кВ и 0,4 кВ системы электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области, а также вопросы экологической безопасности спроектированной системы электроснабжения.

В работе рассмотрены вопросы, связанные с электроснабжением, решены основные задачи: обеспечение требуемого качества электроэнергии, надежности и экономичности.

Реконструированная система электроснабжения населенного пункта Кош-Карагай Тюменской области отвечает нормам основных нормативных документов по экономичности, надёжности, электробезопасности, экологической безопасности и качеству электроэнергии.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.
2. Правила проектирования и монтажа электроустановок. - М.: Омега-Л, 2011. 583 с.
3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2016. 392 с.
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ - М.: Норматика, 2016.
5. Рекомендации по применению самонесущих изолированных проводов на воздушных линиях 0,38 и 10 кВ. – ООО «НИЛЕД», 2005. 182 с.
6. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2014. 354 с.
7. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2015. 261 с.
8. Передача и распределение электрической энергии / Герасименко А.А., Федин В.Т. - Изд. 2-е, - Ростов Н/Д: Феникс, 2018. 523 с.
9. Производители СИП. Режим доступа: <http://1sip-kabel.ru/proizvoditeli-sip/>. Дата обращения: 20.03.2020 г.
10. Провода СИП: марки, технические характеристики. Режим доступа: <http://1sip-kabel.ru/proizvoditeli-sip/>. Дата обращения: 20.03.2020 г.
11. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под общ. ред. А.А. Федорова - М: Энергоатомиздат, 2016. - 568 с.: ил.
12. Шеховцов В.П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов: В.П. Шеховцов учебное пособие.3-е изд. М.: ФОРУМ, 2016. 453 с.
13. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению: учебное пособие для сред. проф. образования В.П. Шеховцов. -2-е изд. дораб. - М.: ФОРУМ, 2018. 194 с.

14. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования: Справочник / А.И. Ящура. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2014. 159 с.

15. Алиев И.И. Электрические аппараты: учебное пособие для сред. проф. образования / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов - М.: РадиоСофт, 2017. 214 с.

16. Горбов А.М. Справочник по эксплуатации электрооборудования: учеб. пособие для сред. проф. образования / А.М. Горбов. - М.: Сталкер, 2016. 262 с.

17. Автоматические выключатели Siemens. Режим доступа: <https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/energetika/nizkoe-napryazhenie/komponenty/zashchitnye-ustrojstva-sentron/modulnye-vyklyuchateli.html>. Дата обращения: 20.03.2020 г.

18. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

19. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 2014. 200 с.

20. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. М., 2015. 184 с.

Приложение А

Спецификация к графическому листу №4

формат	зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
A1		1		Обмотка ВН	3	10 кВ
		2		Бакелитовый цилиндр	3	
		3		Изоляционный цилиндр	3	
		4		Обмотка НН	3	0,4 кВ
		5		Рейки	12	
		6		Сердечник	1	
		7		Стержень	12	
		8		Клин	12	
		9		Планка	24	
		10		Пластина	48	
		11		Болт М10	6	
		12		Шайба М10	22	
		13		Гайка М10	22	
		14		Болт заземления	1	
		15		Рым-болт	8	
		16		Ярмовая балка	4	
		17		Шпилька М10	4	
		18		Шпилька М10	4	
		19		Опора магнитной системы	2	
		20		Пластина заземления	1	
		21		Изоляционная пластина	4	
		22		Прокладка	48	
		23		Изоляционная шайба	6	
		24		Бак трансформатора	1	
		25		Расширительный бак	1	
		26		Ввод ВН	3	
		27		Ввод НН	4	
		28		Переключатель (ПБВ)	1	
		29		Термометр	1	
		30		Сливной кран (основной)	1	
		31		Болт заземления М12	1	
		32		Сливная пробка (дополнительная)	1	

Продолжение приложения А

формат	зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		33		Катки	4	
		34		Кран контрольный	1	
		35		Радиатор	5	
		36		Подъёмный крюк	4	
		37		Крышка бака	1	
		38		Уплотнитель	1	
		39		Показатель уровня масла	1	
		40		Пробка	1	
		41		Воздухоосушитель	1	
		42		Грязевик	1	
		43		Крепёжный болт	4	
		44		Балка для катков	4	