

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 Модернизация электрической части подстанции 110 кВ с заменой высоковольтного оборудования

Обучающийся

Е.П. Светлакова
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

В выпускной квалификационной работе представлен проект модернизации электрической части подстанции 110 кВ с заменой высоковольтного оборудования для электроснабжения поселка «Светлый» в Республике Саха (Якутия). Произведен анализ основных потребителей проектируемой подстанции и их характеристик. Произведен расчет величины нагрузок электроприемников и величины используемой мощности энергосистемы. Произведен расчет токов КЗ.

Произведен расчет и выбор электрооборудования анализируемой понизительной подстанции. Разработана схема электроснабжения ОРУ-110 кВ. Произведен выбор уставок релейной защиты и блоков релейной защиты.

Объем пояснительной записки к квалификационной работе составляет 58 листов формата А4. Пояснительная записка содержит 12 рисунков, 19 таблиц.

Графическая часть включает в себя 6 чертежей формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика объекта проектирования	5
1.1 Существующая схема.....	8
1.2 Общие требования при реконструкции электроустановок	10
1.3 Технические решения при реконструкции	11
2 Расчет электрических нагрузок	12
3 Выбор силовых трансформаторов.....	18
3.1 Определение мощности трансформаторов	18
3.2 Выбор напряжения питающей сети.....	19
4 Расчет токов короткого замыкания	22
5 Выбор электрооборудования	28
5.1 Выбор оборудования ОРУ – 110 кВ.....	28
5.1.1 Выбор разъединителей.....	28
5.1.2 Выбор сборных шин на стороне напряжения 110 кВ	29
5.2 Выбор оборудования на стороне 10 кВ.....	30
5.2.1 Выбор выключателей на 10 кВ	30
5.2.2 Выбор измерительных приборов и трансформаторов тока.....	32
5.2.3 Выбор измерительных приборов и трансформаторов напряжения	33
5.2.4 Выбор плавких предохранителей	35
5.2.5 Выбор разъединителей на 10 кВ.....	35
6 Выбор релейной защиты и автоматики подстанции	37
6.1 Вакуумные выключатели ВВ/TEL-10	37
6.2 Описание вакуумного выключателя ВВ/TEL-10.....	37
6.3 Устройство и работа выключателей.....	38
6.4 Выбор терминала защиты	49
7 Безопасность жизнедеятельности.....	52
Заключение	56
Список использованных источников	57

Введение

Современные электроэнергетические системы характеризуются повышенными требованиями к надежности и качеству электроснабжения потребителей. Серьезное внимание уделяется модернизации и реконструкции существующего электросетевого оборудования, в том числе подстанций.

Подстанции 110 кВ играют важную роль в обеспечении надежного электроснабжения промышленных предприятий, населенных пунктов и других объектов. Устаревшее высоковольтное оборудование на данных подстанциях может привести к снижению надежности и безопасности электроснабжения.

Модернизация электрической части подстанции 110 кВ с заменой высоковольтного оборудования является актуальной задачей, решение которой позволит повысить надежность и эффективность работы подстанции, улучшить качество электроснабжения потребителей, а также соответствовать современным требованиям электроэнергетики.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка проекта модернизации электрической части подстанции 110 кВ с заменой высоковольтного оборудования. В ходе работы будут рассмотрены технические характеристики существующего оборудования, проведен анализ его состояния и определены оптимальные решения по модернизации. Также будут разработаны схемы и выполнены все необходимые проверочные расчеты.

Результаты данной работы могут быть использованы для повышения надежности и эффективности работы подстанций 110 кВ, а также для улучшения качества электроснабжения потребителей.

1 Краткая характеристика объекта проектирования

Подстанция 110/10 кВ предназначена для электроснабжения поселка «Светлый», который находится в Республике Саха Якутия. Подстанция 110 кВ, предназначенная для электроснабжения поселка «Светлый» в Республике Саха (Якутия), находится в эксплуатации более 30 лет. За это время морально и физически устарело следующее высоковольтное оборудование:

- выключатели типа ВМК-110-20001980 года выпуска;
- трансформаторы тока типа ТФЗМ-110 кВ 1985 года выпуска;
- трансформаторы напряжения типа НТМИ-110 кВ 1982 года выпуска;
- разъединители типа РНДЗ-110 кВ 1986 года выпуска;
- ограничители типа ОД-110 кВ 1983 года выпуска.

Устаревшее оборудование обладает низкой надежностью. Это увеличивает уровень риска внештатных ситуаций, что может привести к потерям электроэнергии. Для обеспечения бесперебойного и качественного электроснабжения поселка «Светлый» в Республике Саха (Якутия) требуется модернизация электрической части подстанции с заменой устаревшего оборудования.

Оборудование, которое выработало свой ресурс уже не соответствует современным требованиям надежности и безопасности.

Трансформаторы обладают ограниченным диапазоном рабочих напряжений, их изоляция значительно износилась.

Также большой износ контактной системы имеют установленные разъединители, они не обеспечивают надежную коммутацию токов нагрузки.

Ограничители не обеспечивают требуемый уровень защиты от перенапряжений.

Исходная информация на проектирование:

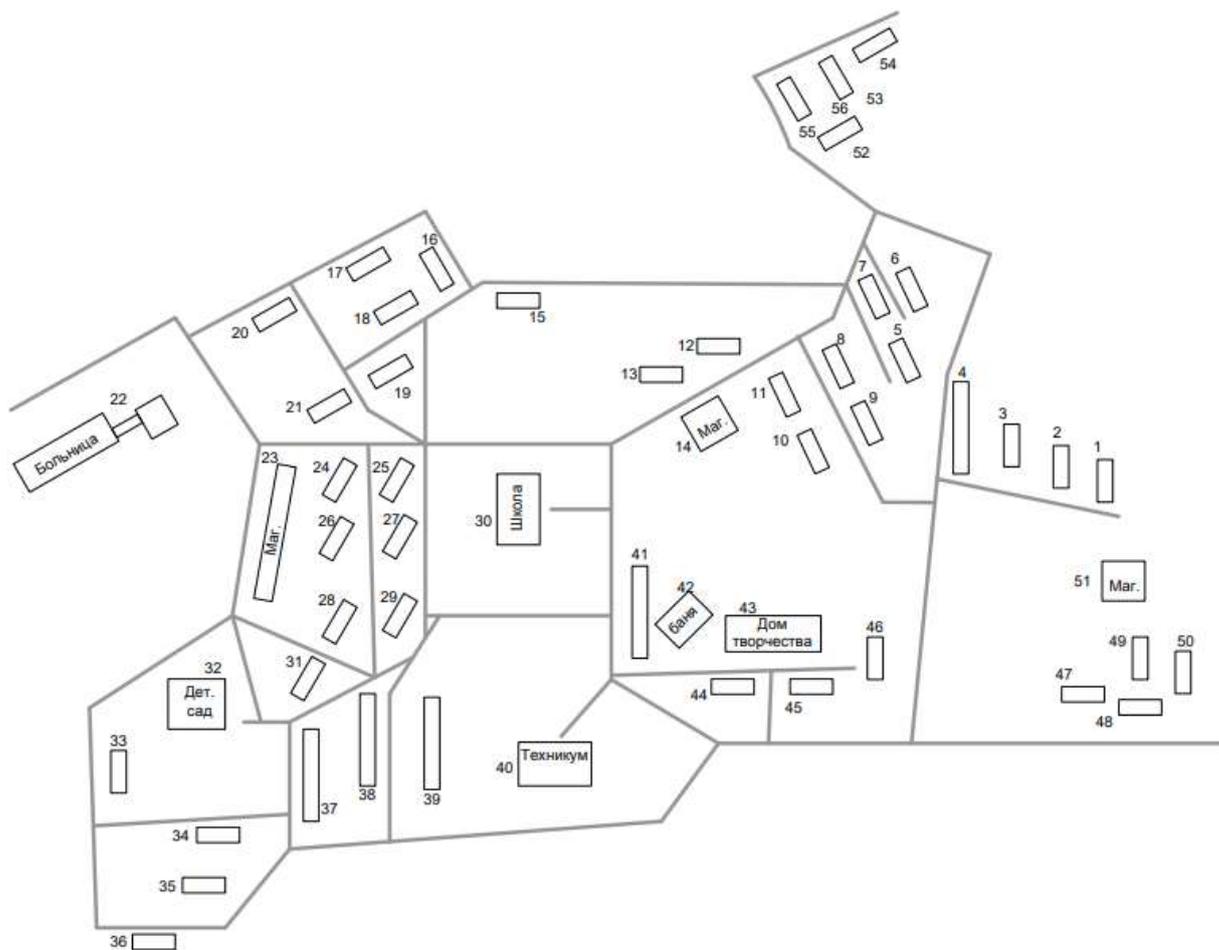


Рисунок 1 – Генеральный план

Таблица 1 – Данные по нагрузкам поселка (Жилые здания)

№ по плану	Наименование потребителей	Этажность	Количество подъездов	Количество квартир	Ед. изм.
1	Жилой дом	5	3	45	кв
2	Жилой дом	5	3	45	кв
3	Жилой дом	5	3	45	кв
4	Жилой дом	5	4	60	кв
5	Жилой дом	5	3	45	кв
6	Жилой дом	5	3	45	кв
7	Жилой дом	5	3	45	кв
8	Жилой дом	5	3	45	кв
9	Жилой дом	5	3	45	кв
10	Жилой дом	5	3	45	кв
11	Жилой дом	5	3	45	кв
12	Жилой дом	5	3	45	кв
13	Жилой дом	5	3	45	кв
15	Жилой дом	5	3	45	кв
16	Жилой дом	5	3	45	кв
17	Жилой дом	5	3	45	кв
18	Жилой дом	5	3	45	кв

Продолжение таблицы 1

№ по плану	Наименование потребителей	Этажность	Количество подъездов	Количество квартир	Ед. изм.
19	Жилой дом	5	3	45	кв
20	Жилой дом	5	3	45	кв
21	Жилой дом	5	3	45	кв
24	Жилой дом	5	3	45	кв
25	Жилой дом	5	3	45	кв
26	Жилой дом	5	3	45	кв
27	Жилой дом	5	3	45	кв
28	Жилой дом	5	3	45	кв
29	Жилой дом	5	3	45	кв
31	Жилой дом	5	3	45	кв
33	Жилой дом	5	3	45	кв
34	Жилой дом	5	3	45	кв
35	Жилой дом	5	3	45	кв
36	Жилой дом	5	3	45	кв
37	Жилой дом	5	4	60	кв
38	Жилой дом	5	4	60	кв
39	Жилой дом	5	4	60	кв
41	Жилой дом	5	4	60	кв
44	Жилой дом	5	3	45	кв
45	Жилой дом	5	3	45	кв
46	Жилой дом	5	3	45	кв
47	Жилой дом	5	3	45	кв
48	Жилой дом	5	3	45	кв
49	Жилой дом	5	3	45	кв
50	Жилой дом	5	3	45	кв
52	Жилой дом	5	3	45	кв
53	Жилой дом	5	3	45	кв
54	Жилой дом	5	3	45	кв
55	Жилой дом	5	3	45	кв
56	Жилой дом	5	3	45	кв

Таблица 2 – Данные по нагрузкам поселка (Общественные, образовательные, коммерческие здания)

№ по плану	Наименование потребителей	Этажность	Количество подъездов	Количество площадь, мест	Ед. изм.
14	Магазин	1	1	100	м ²
22	Больница	3	1	500	Чел
23	Магазин	1	1	300	м ²
30	Школа	3	1	1000	Чел
32	Детский сад	1	1	500	Чел
40	Техникум	3	1	1000	Чел
42	Баня	1	1	200	Чел
43	Дом творчества	2	1	200	Чел
51	Магазин	1	1	100	м ²

1.1 Существующая схема

В настоящее время подстанция 110 кВ, обеспечивающая электроснабжение поселка «Светлый» в Республике Саха (Якутия), имеет устаревшую схему с двумя высоковольтными трансформаторами. Эта схема представляет собой классическую конфигурацию с параллельным подключением трансформаторов [2].

Существующая схема подстанции поселка «Светлый» 110/10кВ представлена на рисунке 2.

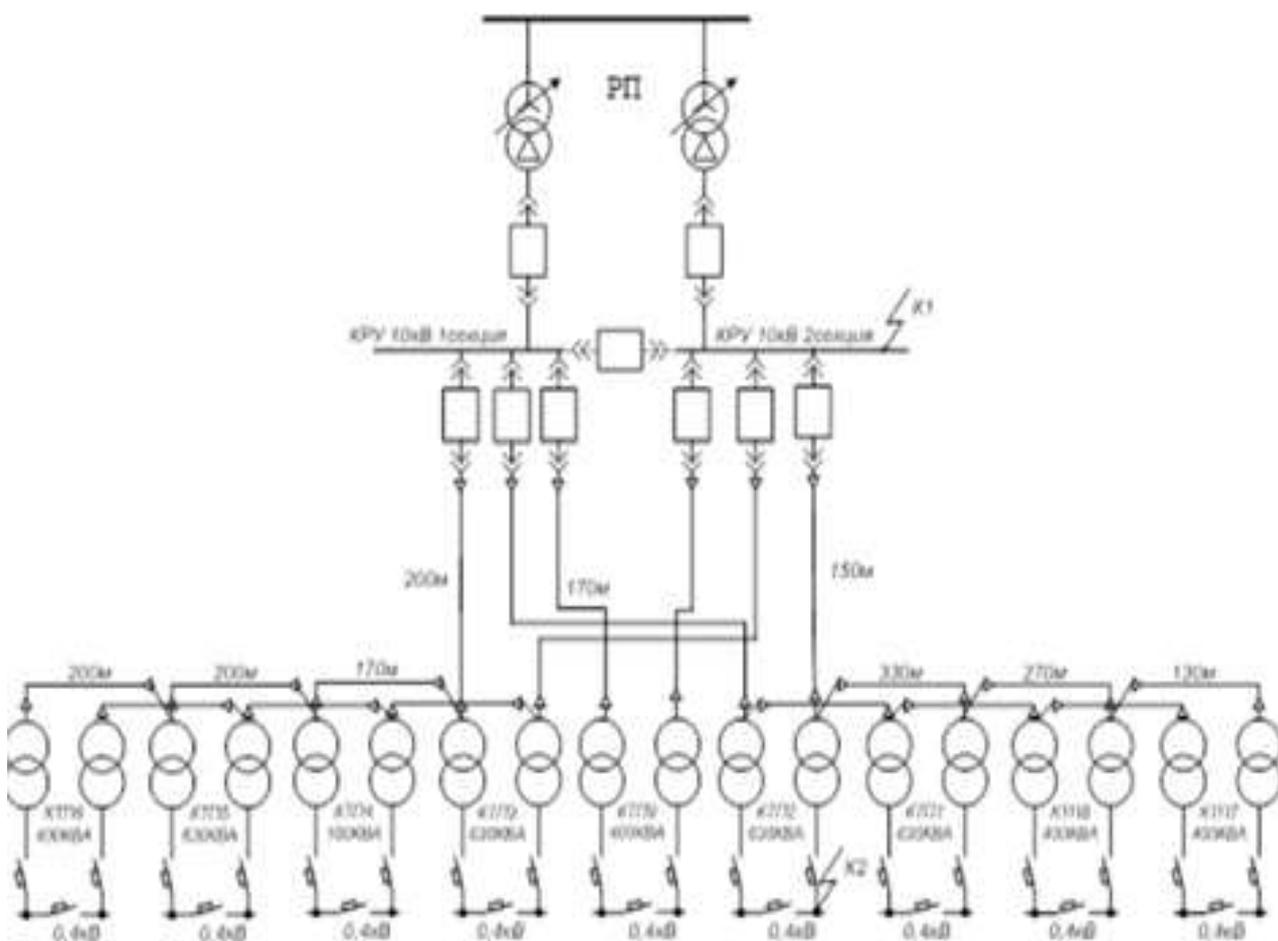


Рисунок 2 – Существующая схема подстанции поселка «Светлый» 110/10кВ

Для обеспечения электропитания поселка «Светлый» установлено параллельно два рабочих высоковольтных трансформатора. Трансформаторы подключены к линии 110 кВ. После трансформации напряжения 110 кВ на

выходе трансформаторов достигается рабочее напряжение, соответствующее потребностям электроснабжения поселка [4].

Установленные измерительные трансформаторы на 10 кВ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Установленные измерительные трансформаторы на 10 кВ

U ном, кВ	Трансформатор тока	Трансформатор напряжения
10	ТЛМ-10 / 600	НАМИ-10 / 600
10	ТЛН-10 / 600	

Трансформаторы имеют длительный срок службы и приближаются к концу своего срока эксплуатации. Это увеличивает вероятность отказов и сбоев в электроснабжении поселка.

Существующая схема не соответствует растущей потребности в энергии в поселке. С учетом роста населения и развития инфраструктуры необходимо увеличить мощность и эффективность системы электроснабжения [3].

В современных условиях доступны более эффективные и надежные технологии в области электроэнергетики. Проведение реконструкции и технического перевооружения позволит использовать передовые решения для оптимизации процессов энергоснабжения и повышения его стабильности.

«Реконструкция трансформаторной подстанции проводится при моральном и физическом износе оборудования, переставшем справляться с возросшими объемами энергопотребления в современных условиях. Реконструкция подстанций позволяет устранить возможные аварии и перебои с энергоснабжением, которые могут быть вызваны эксплуатацией устаревшего оборудования» [10].

Таким образом, модернизация электрической части подстанции 110 кВ с заменой устаревшего высоковольтного оборудования является необходимой мерой для обеспечения надежного и эффективного электроснабжения поселка «Светлый» в Республике Саха (Якутия).

1.2 Общие требования при реконструкции электроустановок

При проектировании и реконструкции необходимо соблюдать все соответствующие нормативы, стандарты и технические регламенты, установленные для электроэнергетических объектов.

При проведении работ необходимо обеспечить высокие стандарты безопасности для персонала и окружающей среды. Это включает в себя использование безопасного оборудования, проведение необходимых мероприятий по предотвращению аварий и соблюдение правил электробезопасности.

Реконструкция должна направляться на повышение надежности и стабильности работы электроснабжения [1]. Это включает в себя выбор надежного оборудования, оптимизацию схем и систем контроля за процессами.

Важным аспектом является повышение энергоэффективности системы. Это включает в себя выбор энергосберегающих технологий, уменьшение потерь электроэнергии в процессе передачи и распределения.

Система должна быть гибкой и масштабируемой, чтобы адаптироваться к изменяющимся потребностям и условиям эксплуатации. Это позволит эффективно управлять электроснабжением в будущем.

Установка вакуумных выключателей.

«Вакуумный выключатель – это электротехническое устройство, применяемое для отключения электрической цепи при превышении номинального значения тока» [16].

1.3 Технические решения при реконструкции

Комплекс работ по реконструкции подстанции поселка «Светлый» в Республике Саха (Якутия) включает в себя следующее:

- разработка проектной документации;
- демонтаж устаревшего оборудования;
- поставка и монтаж современного оборудования;
- пуско-наладочные работы;
- сервисное гарантийное и постгарантийное обслуживание системы.

Основные технические решения:

- новые трансформаторы ТДНС-16000/110 будут установлены взамен ТРДН-16000/110; этот трансформатор обеспечивает эффективное энергоснабжение даже при высоких нагрузках, обеспечивает надежность и стабильность в различных условиях; регулирование высокого напряжения дает возможность точной настройки работы;
- масляные выключатели типа ВМК-110-2000 и ВМК-10-20/630 будут заменены на вакуумные;
- разъединители типа РНДЗ-2-110/400 будут заменены на современные;
- старые ограничители типа ОД-110/400 также будут заменены на современные;
- для обеспечения безопасности и стабильности работы системы будут установлены современные средства защиты, включая релейную защиту, автоматические выключатели;
- при реконструкции будет проведена оптимизация схемы электроснабжения с учетом современных технологий и требований к энергоэффективности, что позволит повысить общую производительность системы.

Вывод по разделу. Все представленные данные указывают на необходимость модернизации подстанции поселка «Светлый», который находится в Республике Саха Якутия.

2 Расчет электрических нагрузок

Расчет жилых зданий:

Расчетные нагрузки жилых зданий складываются из нагрузок квартир и общедомовых силовых электроприемников (электродвигатели лифтов, насосов, вентиляторов и т.д.):

Активная составляющая:

$$P_{\text{зд}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n + 0,9 \cdot (K_{\text{с.л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot P_{\text{н.л}} + K_{\text{с.сту}} \cdot n_{\text{сту}} \cdot P_{\text{н.сту}}) + K_{\text{у}} \cdot P_{\text{доп}}, \quad (1)$$

Реактивная составляющая:

$$Q_{\text{зд}} = P_{\text{зд}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2)$$

Полная мощность:

$$S_{\text{зд}} = \sqrt{P_{\text{зд}}^2 + Q_{\text{зд}}^2}, \quad (3)$$

где $P_{\text{кв.уд}}$ – удельная нагрузка квартир (зависящая от типа кухонных плит и числа квартир);

$n, n_{\text{л}}, n_{\text{сту}}$ – число квартир, двигателей лифтовых установок и санитарно-технических устройств в доме;

$P_{\text{н.л}}, P_{\text{н.сту}}, P_{\text{доп}}$ – номинальная мощность двигателей лифтовых установок, санитарно-технических устройств и дополнительная нагрузка (магазины на первом этаже, кафе и т.д.);

$K_{\text{с.л}}, K_{\text{с.сту}}$ – коэффициент спроса двигателей лифтовых установок и санитарно-технических устройств;

$K_{\text{у}}$ – коэффициент участия.

Данные расчета электрических нагрузок для жилых зданий и данные расчета электрических нагрузок для общественных, учебных и коммерческих зданий представлены непосредственно в таблице 4 и таблице 5.

Жилой дом №1.

Для домов с электрическими плитами мощностью 8,5кВт с количеством квартир 45 $\rightarrow P_{\text{кв.уд}} = 2,475\text{кВт/кв.}$

Квартиры:

$$P_{\text{РКВ}} = P_{\text{кв. уд}} \cdot n = 2,475 \cdot 45 = 111,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{РКВ}} = P_{\text{РКВ}} \cdot \text{tg}\varphi = 111,4 \cdot 0,2 = 22,3 \text{ квар.}$$

Также в доме кроме нагрузки квартир есть общедомовые сантехнические электроприемники, а также освещение подъездов.

Сантехнические электроприемники.

Вентиляция:

$$P_{\text{РСТУ}} = 0,9K_C \cdot \Sigma P_{\text{НСТУ}} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 5 = 4,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{РСТУ}} = P_{\text{РСТУ}} \cdot \text{tg}\varphi = 4,1 \cdot 0,75 = 3,1 \text{ квар.}$$

Насосы подачи воды:

$$P_{\text{РСТУ}} = 0,9K_C \cdot \Sigma P_{\text{НСТУ}} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 12 = 9,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{РСТУ}} = P_{\text{РСТУ}} \cdot \text{tg}\varphi = 9,7 \cdot 0,75 = 7,3 \text{ квар.}$$

Освещение:

$$P_{\text{РАВ.Осв}} = 0,9K_C \cdot \Sigma P_{\text{Н}} = 0,9 \cdot 1 \cdot 3 = 2,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{РАВ.Осв.}} = P_{\text{РАВ.Осв}} \cdot \text{tg}\varphi = 2,7 \cdot 0,33 = 0,9 \text{ квар.}$$

Таблица 4 – Данные расчета электрических нагрузок для жилых зданий

№ на плане	Наименование потребителя	Этаж	Кол-во	Ед. изм	Уд.п. кВт	cosφ	tgφ	Вентиляция			Насосы подачи воды			Освещение			Ко-эф.	Расчетные нагр.		
								P _H	K _c	Cosφ / tgφ	P _H	K _c	Cosφ / tgφ	P _H	K _c	Cosφ / tgφ		P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14	16	17	18	19	20	21
1	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
2	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
3	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
4	Жилой дом	5	60	кв	2,1	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	4	1	0,95/0,33	0,9	143,4	36,7	148
5	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
6	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
7	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
8	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
9	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
10	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
11	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
12	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
13	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
15	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
16	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
17	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
18	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
19	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
20	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
21	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
24	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
25	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
26	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
27	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
28	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
29	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
31	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
33	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
34	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
35	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	14	16	17	18	19	20	21
36	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
37	Жилой дом	5	60	кв	2,1	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	4	1	0,95/0,33	0,9	143,4	36,7	148
38	Жилой дом	5	60	кв	2,1	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	4	1	0,95/0,33	0,9	143,4	36,7	148
39	Жилой дом	5	60	кв	2,1	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	4	1	0,95/0,33	0,9	143,4	36,7	148
41	Жилой дом	5	60	кв	2,1	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	4	1	0,95/0,33	0,9	143,4	36,7	148
44	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
45	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
46	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
47	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
48	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
49	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
50	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
52	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
53	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
54	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
55	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132
56	Жилой дом	5	45	кв	2,475	0,98	0,2	5	0,9	0,8/0,75	12	0,9	0,8/0,75	3	1	0,95/0,33	0,9	127,9	33,6	132

Таблица 5 – Данные расчета электрических нагрузок для общественных, учебных и коммерческих зданий

№ на плане	Наименование потребителя	Этаж	Кол-во	Ед. изм.	Уд.п. кВт	cosφ	tgφ	Вентиляция			Насосы подачи воды			Освещение			Коэф.	Расчетные нагр.		
								P _н	K _с	Cosφ/tgφ	P _н	K _с	Cosφ/tgφ	P _н	K _с	Cosφ/tgφ		P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
14	Магазин	1	100	м ²	0,25	0,8	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	18,8	31,3
22	Больница	3	500	Чел	0,4	0,92	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	86	218
23	Магазин	1	300	м ²	0,25	0,8	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	56,3	93,8
30	Школа	3	1000	Чел	0,25	0,95	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250	82,5	263
32	Детский сад	1	500	Чел	0,46	0,97	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230	57,5	237
40	Техникум	3	1000	Чел	0,46	0,92	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	460	197,8	500,7
42	Баня	1	200	Чел	0,1	0,8	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	15	25
43	Дом творчества	2	200	Чел	0,14	0,92	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	12	30,5
51	Магазин	1	100	м ²	0,25	0,8	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	18,8	31,3

Общая активная нагрузка по дому:

$$P_{\text{ЖД}} = 111,4 + 4,1 + 9,7 + 2,7 = 127,9 \text{ кВт.}$$

Общая реактивная нагрузка по дому:

$$Q_{\text{ЖД}} = 22,3 + 3,1 + 7,3 + 0,9 = 33,6 \text{ квар.}$$

Общая полная нагрузка по дому:

$$S_{\text{ЖД}} = \sqrt{127,9^2 + 33,6^2} = 132 \text{ кВА.}$$

Общественные, учебные и коммерческие здания.

Магазин №14.

Для магазинов продовольственных с кондиционированием воздуха $P_{\text{уд}} = 0,25 \text{ кВт/м}^2$ и $\cos\phi = 0,8$:

$$P_{\text{РМаг}} = P_{\text{уд.маг}} \cdot F = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{Р.Маг}} = P_{\text{РМаг}} \cdot \text{tg}\phi = 25 \cdot 0,75 = 18,8 \text{ квар,}$$

$$S_{\text{маг}} = \sqrt{25^2 + 18,8^2} = 31,3 \text{ кВА.}$$

Больница №22.

Для больниц (учреждение здравоохранения) с кондиционированием воздуха $P_{\text{уд}} = 0,4 \text{ кВт/м}^2$ и $\cos\phi = 0,92$:

$$P_{\text{РБол}} = P_{\text{уд}} \cdot N = 0,4 \cdot 500 = 200 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{Р.Бол}} = P_{\text{РБол}} \cdot \text{tg}\phi = 200 \cdot 0,43 = 86 \text{ квар,}$$

$$S_{\text{бол}} = \sqrt{200^2 + 86^2} = 218 \text{ кВА.}$$

Школа №30.

Для школ с электрифицированными столовыми и спортзалами $P_{уд} = 0,25 \text{ кВт/м}^2$ и $\cos\phi = 0,95$:

$$P_{РШк} = P_{уд} \cdot N = 0,25 \cdot 1000 = 250 \text{ кВт},$$

$$Q_{Р.Шк} = P_{РШк} \cdot \text{tg}\phi = 250 \cdot 0,33 = 82,5 \text{ квар},$$

$$S_{бол} = \sqrt{250^2 + 82,5^2} = 263 \text{ кВА}.$$

Вывод по разделу. Были рассчитаны электрические нагрузки для поселка «Светлый», который находится в Республике Саха Якутия. При расчетах было учтено, что расчетные нагрузки жилых зданий складываются из нагрузок квартир и общедомовых силовых электроприемников. Дополнительно учтена специфика учреждений здравоохранения и образования.

3 Выбор силовых трансформаторов

3.1 Определение мощности трансформаторов

При выборе типа силовых трансформаторов сначала необходимо определить мощность трансформаторов ГПП по формуле, кВ·А:

$$S_T \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot n_T}, \quad (4)$$

где S_p – полная расчетная мощность, кВ·А;

K_3 – коэффициент загрузки трансформаторов;

n_T – число трансформаторов.

$$S_T = \frac{7173}{0,7 \cdot 2} = 5123,57 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Примем стандартную мощность трансформатора $S_H = 16 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.
Определим коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме, о. е.:

$$K_3^{\text{н.р}} = \frac{S_p}{S_H \cdot n_T}, \quad (5)$$
$$K_3^{\text{н.р}} = \frac{7173}{16000 \cdot 2} = 0,22.$$

Определим коэффициент загрузки трансформаторов в аварийном режиме, о. е.:

$$K_3^{\text{ав.р}} = \frac{S_p}{S_H}, \quad (6)$$

$$K_3^{ав.р} = \frac{7173}{16000} = 0,44.$$

Останавливаем выбор на двух параллельных трансформаторах ТДНС–16000. Каталожные данные трансформатора ТДНС–16000/110 представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Каталожные данные трансформатора

Наименование	S _н , МВ·А	Напряжение обмоток, кВ		Потери, кВт		u _к , %	I _х , %
		ВН	НН	P _{хх}	P _{кз}		
ТДНС–16000/110 У1	16	36,75	10,5	13	85	10,0	0,3

На кабельной линии устанавливаются трансформаторы тока нулевой последовательности типа ТЗЛК (ТЗЛКР-0,66-205).

3.2 Выбор напряжения питающей сети

Сечение кабельной линии напряжением до 1 кВ выбирается в соответствии с требованиями.

Условия нагрева в нормальном режиме:

$$I_p \leq I_{доп}, А, \quad (7)$$

где I_p – расчетный ток линии, А;

$I_{доп}$ – допустимый продолжительный ток, А.

Выбранное сечение проверяется по условию нагрева длительным расчетным током послеаварийного режима:

$$I'_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} \cdot K_{n1} \cdot K_{n2}, \text{ А} \quad (8)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительный допустимый ток для данного сечения кабеля, А;
 K_{n1} – поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, проложенных рядом в земле.
 K_{n2} – поправочный коэффициент для кабелей при t земли $+15^{\circ}\text{C}$ и удельном сопротивлении земли $\rho_{\text{уд}} = 120 \text{ см} \cdot \text{К/Вт}$, $K_{n2} = 1$.

$$I_{\text{р.пав}} \leq I'_{\text{доп}}, \text{ А} \quad (9)$$

где $I'_{\text{доп}}$ – длительный допустимый ток для данного сечения кабеля при определенных условиях прокладки, А.

Выбранное сечение проверяется по допустимым потерям напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_{\text{ном}}}, \% \quad (10)$$

Допускается падение напряжения на зажимах потребителя не более 5% от номинального. При расчете учитываем, что на зажимах центра питания напряжение больше номинального на 5%.

Дом №1:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot n} = \frac{132}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 1} = 201 \text{ А.}$$

Выбираем сечение $F_{ст} = 70 \text{ мм}^2$.

$$I_{доп} = 210 \text{ А} \Rightarrow I'_{доп} = 210 \cdot 1 \cdot 1 = 210 \text{ А},$$

$$I_p = 201 \text{ А} < I'_{доп} = 210 \text{ А}.$$

Данное сечение удовлетворяет условию нагрева.

Проверка на допустимое отклонение напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 201 \cdot 0,12 \cdot (0,429 \cdot 0,98 + 0,082 \cdot 0,2)}{380} \cdot 100\% = 4,8\%.$$

Данное сечение удовлетворяет условию.

Вывод по разделу. Были выбраны силовые трансформаторы ТДНС–16000/110 У1 для подстанции поселка «Светлый», который находится в Республике Саха Якутия. На кабельной линии устанавливаются трансформаторы тока нулевой последовательности типа ТЗЛК (ТЗЛКР-0,66-205). Сечение кабельной линии напряжением до 1 кВ удовлетворяет всем условиям.

4 Расчет токов короткого замыкания

Ниже на рисунке 3 представлена схема замещения участка цепи.

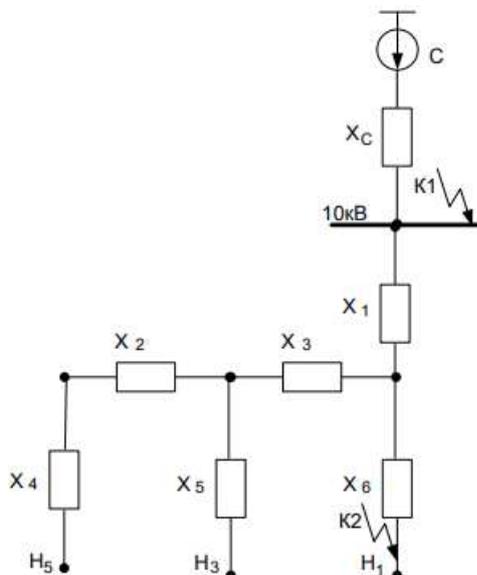


Рисунок 3 – Схема замещения

Произведем определение параметров схемы замещения:

Система:

$$X_c = \frac{U_{c \text{ ср ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{НОМ ОТКЛ}}}, \text{ Ом} \quad (11)$$

$$I_{\text{НОМ.ОТКЛ}} = 20 \text{ кА.}$$

$$X_c = \frac{U_{c \text{ ср ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{НОМ ОТКЛ}}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 20} = 0,29 \text{ Ом.}$$

Произведем расчет токов КЗ свыше 1кВ:

Найдем начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{\text{но}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot X_c}, \text{ кА}, \quad (12)$$

$$I_{\text{но}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,29} = 20 \text{ кА}.$$

Определим действующее значение периодической составляющей тока КЗ в момент времени t :

$$I_{\text{но}} = I_{\text{пт}} = \text{const} = 20 \text{ кА}. \quad (13)$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\text{но}}, \text{ кА}, \quad (14)$$

где k_y – ударный коэффициент = 1,92.

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,92 \cdot 20 = 54 \text{ кА}.$$

Для определения чувствительности релейной защиты необходимо определить ток 2-х фазного КЗ:

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{но}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 20 = 17,3 \text{ кА}. \quad (15)$$

Расчет токов КЗ до 1кВ.

Расчёт производится в именованных единицах сопротивления считаются в мОм. Часть схемы, находящаяся выше трансформатора 10/0,4 кВ (на шинах РУНН, которого находится точка КЗ), представляем в виде системы.

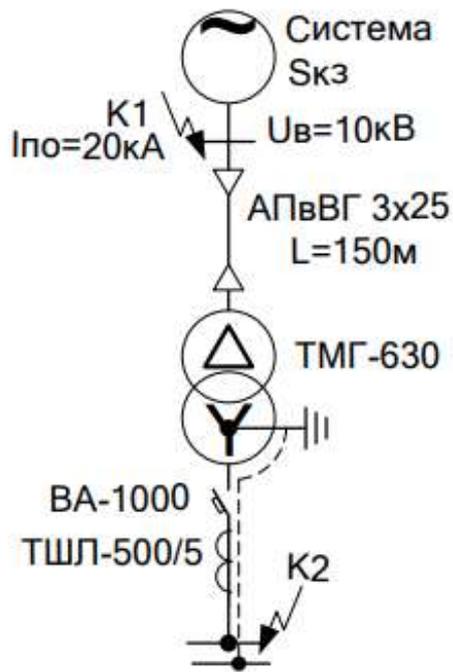


Рисунок 4 – Расчетная схема

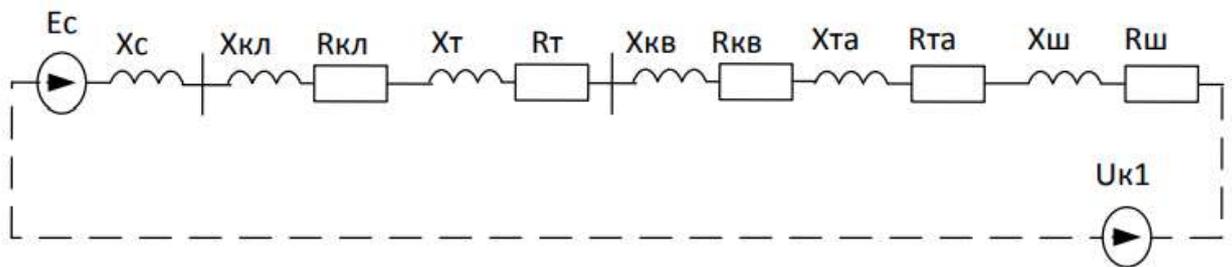


Рисунок 5 – Схема замещения

Произведем расчет параметров схемы замещения прямой последовательности.

Система:

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{кз}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 20 = 346 \text{ МВА}, \quad (16)$$

$$U_B = 10 \text{ кВ},$$

$$X_c = \frac{U_{нн}^2}{S_k} \cdot 10^{-3} = \frac{400^2}{346} \cdot 10^{-3} = 0,46 \text{ мОм}. \quad (17)$$

Кабель АПВВГ 3×25.

$$r_{\text{кл}} = 1,17 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{кл}} = 0,091 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{кл}} = 1,17 \cdot 0,15 = 0,18 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кл}} = 0,091 \cdot 0,15 = 0,01 \text{ мОм}.$$

Трансформатор:

$$X_T = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{кз}}}{S_H}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{нн}}^2}{S_H} \cdot 10^4, \quad (18)$$

$$X_T = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{630}\right)^2} \cdot \frac{0,38^2}{630} \cdot 10^4 = 12,3 \text{ мОм},$$

$$r_T = \frac{P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_H^2} \cdot 10^6 = \frac{7,6 \cdot 0,38^2}{630^2} \cdot 10^6 = 2,76 \text{ мОм}. \quad (19)$$

Шинопровод ШМА-1250.

$$R_{\text{ш}} = 0,034 \cdot 10 = 0,34 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{ш}} = 0,016 \cdot 10 = 0,16 \text{ мОм}.$$

В качестве трансформатора тока принимаем ТШЛ-СЭЦ 500/5 самарского завода «Электрощит». Параметры ТА.

$$X_{\text{ТА}} = 0,02 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{ТА}} = 0,02 \text{ мОм}.$$

Параметры автоматического выключателя.

$$R_{\text{кв}} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кв}} = 0,1 \text{ мОм}.$$

Сопротивление дуги определяем по графику из ГОСТ28249-93.

$$R_{\text{д}} = 3,8 \text{ мОм}$$

Расчёт суммарных сопротивлений прямой последовательности:

$$R_{1\text{СУМ}} = R_{\text{КЛ}} + R_{\text{T}} + R_{\text{ТА}} + R_{\text{КВ}} + R_{\text{Ш}} + R_{\text{Д}} = 0,18 + 2,76 + 0,02 + 0,25 + 0,34 + \\ + 3,8 = 7,35 \text{ мОм},$$

$$X_{1\text{СУМ}} = X_{\text{С}} + X_{\text{КЛ}} + X_{\text{T}} + X_{\text{ТА}} + X_{\text{КВ}} + X_{\text{Ш}} = 0,46 + 0,01 + 12,3 + 0,02 + 0,01 + \\ + 0,16 = 12,96 \text{ мОм}.$$

Расчёт параметров схемы замещения нулевой последовательности.

Кабель:

$$R_{\text{кЛ0}} = 3,52 \cdot 0,15 = 0,53 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кЛ0}} = 0,406 \cdot 0,15 = 0,06 \text{ мОм}.$$

Трансформатор.

$$r_{0\text{T}} = 2,64 \text{ мОм};$$

$$X_{0\text{T}} = 12,3 \text{ мОм}.$$

Шинопровод:

$$R_{\text{ШП}} = 0,054 \cdot 10 = 0,54 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{ШП}} = 0,053 \cdot 10 = 0,53 \text{ мОм}.$$

Расчёт суммарных сопротивлений нулевой последовательности:

$$R_{0\text{СУМ}} = R_{\text{кЛ0}} + R_{\text{T}} + R_{\text{ТА}} + R_{\text{КВ}} + R_{\text{Ш}} + 3 \cdot R_{\text{ШП}} + R_{\text{Д}} = 0,53 + 2,76 + 0,02 + 0,25 + \\ + 0,34 + 3 \cdot 0,54 + 3,8 = 9,32 \text{ мОм}.$$

$$X_{0\text{СУМ}} = X_{\text{кЛ0}} + X_{\text{T}} + X_{\text{ТА}} + X_{\text{КВ}} + X_{\text{Ш}} + 3 \cdot X_{\text{ШП}} = 0,06 + 12,3 + 0,02 + 0,01 + 0,16 + \\ + 3 \cdot 0,53 = 14,14 \text{ мОм}.$$

Расчёт тока трёхфазного КЗ:

$$I_{\text{но}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1\text{СУМ}}^2 + X_{1\text{СУМ}}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{7,35^2 + 12,96^2}} = 15,5 \text{ кА.} \quad (20)$$

Расчёт тока однофазного КЗ:

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{(2 \cdot R_{1\text{СУМ}} + R_{0\text{СУМ}})^2 + (2 \cdot X_{1\text{СУМ}} + X_{0\text{СУМ}})^2}}, \quad (21)$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{(2 \cdot 7,35 + 9,32)^2 + (2 \cdot 12,96 + 14,14)^2}} = 8,6 \text{ кА.}$$

Расчёт ударного тока КЗ:

$$T_{\text{а}} = \frac{X_{1\Sigma}}{\omega \cdot R_{1\Sigma}} = \frac{12,96}{314 \cdot 7,35} = 0,006 \text{ с.} \quad (22)$$

$$k_{\text{уд}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,006}} = 1,19. \quad (23)$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{но}} \cdot k_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 15,5 \cdot 1,19 = 26 \text{ кА.} \quad (24)$$

Вывод по разделу. Были рассчитаны токи короткого замыкания для подстанции поселка «Светлый», который находится в Республике Саха Якутия.

5 Выбор электрооборудования

5.1 Выбор оборудования ОРУ – 110 кВ

5.1.1 Выбор разъединителей

Параметры выбора:

- по напряжению установки $U_{уст} < I_{дин}$;
- по длительному току $I_{max} < I_{ном}$;
- на электродинамическую стойкость. $I_y < I_{дин}$;
- на термическую стойкость $B_k < I_{тер}^2 \cdot t$.

В соответствии с напряжением 110 кВ выбираем для проверки разъединитель типа РВЗ – 110/1000 УЗ.

Для этого разъединителя по каталожным данным находим:

$U_{ном} = 110$ кВ, $I_{ном} = 1000$ А, $I_{дин} = 63$ кА, $I_t = 20$ кА, $t = 4$ с.

Проверяем разъединитель по необходимым условиям.

Данные проверки заносим в таблицу 7.

Таблица 7 – Условие выбора и проверки разъединителя на 110 кВ

Расчетные величины	Номинальные параметры РВЗ - 110/1000 УЗ
$U_{уст} = 110$ кВ.	$U_{ном} = 110$ кВ.
$I_{max} = 330$ А.	$I_{ном} = 1000$ А
$I_y = 54$ кА.	$I_{дин} = 63$ кА.
$B_k = 62$ кА ² · с	$I_t = 1200$ кА ² · с

Разъединители ОПНЗ-110 УХЛ, установленные на подстанции, оснащены ножами заземления, что обеспечивает безопасное проведение ремонтных и эксплуатационных работ на отключенном оборудовании. Основные электротехнические характеристики ОПНЗ-110 УХЛ1 в таблице 8.

Таблица 8 – Основные электротехнические характеристики ОПНз-110 УХЛ1

Характеристика	Значение
Класс напряжения сети, кВ	110
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ	110
Номинальный разрядный ток, кА	10
Остающееся напряжение на ОПН при импульсе тока 30/60 мкс амплитудой:	
250 А, кВ, не более	96,3
500 А, кВ, не более	101
1000 А, кВ, не более	107
Остающееся напряжение на ОПН при импульсе тока 8/20 мкс с амплитудой:	
5000 А, кВ, не более	120
10000 А, кВ, не более	130
20000 А, кВ, не более	146
Остающееся на ОПН напряжение при импульсе тока 1/10 мкс с амплитудой 10 кА, кВ, не более	133
Амплитуда импульса большого тока 4/10 мкс, кА	100
Ток утечки, мА, не более, действующее значение	1
Ток КЗ, при котором обеспечивается взрывобезопасность, кА	20
Масса ограничителя, кг, не более	13,5
Длина пути утечки внешней изоляции, см, не менее	300

5.1.2 Выбор сборных шин на стороне напряжения 110 кВ

При выборе сечения сборных шин 110 кВ необходимо руководствоваться принципом допустимой плотности тока. Экономическая плотность тока для данного случая не вычисляется.

Оптимальное сечение шин:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{норм}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{норм}}}, \quad (25)$$

$$I_{\text{норм}} = \frac{7173}{\sqrt{3} \cdot 110} = 121 \text{ А.}$$

$$I_{\text{max}} = I_{\text{норм}} = 121 \text{ А.}$$

Принимаем АС-240/32 $q = 240 \text{ мм}^2$, $d = 21,6 \text{ мм}$, $I_{\text{доп}} = 605 \text{ А}$, $I_n < 20 \text{ кА}$.

Начальная критическая напряженность, кВ/см:

$$E_0 = 30,3m \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right), \quad (26)$$
$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,22}} \right) = 31,6 \text{ кВ/см.}$$

Напряженность вокруг провода, кВ/см:

$$E = \frac{0,354 \cdot U}{r_0 \lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_0}}, \quad (27)$$
$$E = \frac{0,354 \cdot 35}{1,22 \lg \frac{1,26 \cdot 300}{1,22}} = 14,1 \text{ кВ/см.}$$

Условие проверки:

$$1,07E \leq 0,9E_0; \quad (28)$$
$$1,07 \cdot 14,1 = 15,1 < 0,9 \cdot 31,6 = 28,4.$$

Таким образом, провод АС-240/32 по условиям короны проходит.

5.2 Выбор оборудования на стороне 10 кВ

5.2.1 Выбор выключателей на 10 кВ

Условия выбора выключателей:

- по напряжению установки: $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$.
- по длительному току: $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{норм}}$; $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{мах}}$.
- по отключающей способности: $I_{\text{отк.ном}} \geq I_{\text{пт}}$.

- проверяется возможность отключения апериодической составляющей тока КЗ:

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \frac{B_{ном\%}}{100} \cdot I_{отк.ном} \geq i_{ат}. \quad (29)$$

Если условие не выполняется, то проверка производится по полному току:

$$\sqrt{2} \cdot I_{отк.ном} \cdot \left(1 + \frac{B_{ном\%}}{100}\right) \geq \sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}. \quad (30)$$

Проверка на электродинамическую стойкость:

$$i_{дин} \geq i_y; I_{дин} \geq I_{по}. \quad (31)$$

Проверка на термическую стойкость:

$$I_m^2 \cdot t_t \geq B_k = I_{по}^2 (t_{отк} + T_a), \quad (32)$$

где $t_{отк} = t_{р.з.} + t_{о.в.} = 0,1 +$ полное время отключения выключателя (каталог).

Выбираем вакуумный выключатель типа ВВ/TEL-10-20У2 (вводная ячейка и отходящие линии). Результаты отражены в таблице 9 и таблице 10.

Таблица 9 – Параметры выключателя

$U_{ном}, \text{кВ}$	$I_{ном}, \text{А}$	$I_{отк.ном}, \text{кА}$	$\beta_{ном}, \%$	$I_{дин}, \text{кА}$	$i_{дин}, \text{кА}$	$\frac{I_m, \text{кА}}{t_t, \text{с}}$	$t_{ов}, \text{с}$
10	1000	20	55	20	63	20/3	0,025

Таблица 10 – Проверка выключателя

Расчётные данные	Каталожные данные
	Выключатель ВВ/TEL-10-20У2
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 5733 / 2 / 10 / 3 = 165 \text{ А}$ $I_{max} = 330 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_{пт} = 20 \text{ кА}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА}$
$i_y = 54 \text{ кА}$ $I_{п0} = 20 \text{ кА}$	$i_{дин} = 63 \text{ кА}$ $I_{дин} = 20 \text{ кА}$
$I_{п0}^2 \cdot (t_{отк} + T_a) =$ $= 20^2 \cdot (0,125 + 0,03) = 62 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 \cdot t_t =$ $= 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Номинальный ток выключателя принят $I_{ном} = 1000 \text{ А}$, т.к. от шин РУНН еще питается и другие потребители.

5.2.2 Выбор измерительных приборов и трансформаторов тока

Условия выбора:

- по напряжению установки: $U_{уст} \leq U_{ном}$.
- по току: $I_{ном} \leq I_{1ном}$; $I_{max} \leq I_{1ном}$.
- по электродинамической стойкости: $i_y \leq i_{дин}$.
- по термической стойкости: $B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{тер}$.
- по вторичной нагрузке: $Z_2 \leq Z_{2ном}$ в требуемом классе точности.

Вводная ячейка и отходящие линии:

Выбираю ТЛК10-1У3. Результаты отражены в таблицах 11, 12 и 13.

Таблица 11 – Параметры ТТ

$U_{ном}$, кВ	$I_{н1}$, А	$I_{н2}$, А	$Z_{2ном}$, Ом	I_m , кА/ t_t , с	$i_{дин}$, кА	Класс точности
10	400	5	0,4	31,5/3	81	0,5

Таблица 12 – Вторичная нагрузка ТА (вводная ячейка)

Приборы	Тип	Нагрузка, В·А
Амперметр	Э-351	0,5
Счётчик активной энергии	A2R-3-01-C4-T	2,5
Итого	-	3

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{приб}} + r_k + r_{\text{пров}}, \quad (33)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{S}{I_{2\text{ннн}}^2} = \frac{3}{5^2} = 0,12 \text{ Ом}, \quad (34)$$

$$r_k = 0,05 \text{ Ом (менее трёх приборов)},$$

$$r_{\text{пров_cu}} = Z_{2\text{ннн}} - r_{\text{приб}} - r_k = 0,4 - 0,12 - 0,05 = 0,23 \text{ Ом},$$

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пров_cu}}} = \frac{0,0175 \cdot 4 \cdot \sqrt{3}}{0,23} = 0,53 \text{ мм}^2, F = 2,5 \text{ мм}^2, \quad (35)$$

$$r_{\text{пров_cu}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{F} = \frac{0,0175 \cdot 4 \cdot \sqrt{3}}{2,5} = 0,05 \text{ Ом}, \quad (36)$$

$$r_2 = 0,12 + 0,05 + 0,05 = 0,22 \text{ Ом}.$$

Таблица 13 – Проверка ТТ

Расчётные данные	Каталожные данные ТЛК10-1У3
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} = 165 \text{ А}$ $I_{\text{max}} = 330 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 400 \text{ А}$
$i_y = 54 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 81 \text{ кА}$
$W_k = 62 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$31,5^2 \cdot 3 = 2978 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$r_2 = 0,22 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{ннн}} = 0,4 \text{ Ом}$

На кабельной линии устанавливается трансформатор тока нулевой последовательности типа ТЗЛК.

5.2.3 Выбор измерительных приборов и трансформаторов напряжения

Условия выбора:

- по напряжению установки: $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$.

- по вторичной нагрузке $S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}}$ в требуемом классе точности.

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos\varphi_{\text{приб}}\right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin\varphi_{\text{приб}}\right)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}. \quad (37)$$

Выбираю НАМИТ-10-66УЗ. Результаты отражены в таблицах 14 и 15.

$$U_{уст} = 10\text{кВ} \leq U_{ном} = 10\text{кВ}.$$

Таблица 14 – Параметры ТН

$U_{вн}, \text{кВ}$	$U_{нн} (\text{осн}), \text{В}$	$U_{нн} (\text{доп}), \text{В}$	$S_{2ном}, \text{В}\cdot\text{А}$	Класс точности
10	100	100/3	200	0,5

Таблица 15 – Вторичная нагрузка ТУ РУНН (одна секция)

Приборы	Тип	S _{об} , В·А	Число обмоток	cosφ	sinφ	Число приборов	Общая мощность	
							P, Вт	Q, вар
Сборные шины: Вольтметр	Э- 335	2	1	1	0	2	4	-
Трансформатор: Ваттметр	Д- 335	1,5	2	1	0	1	3	-
Счётчик акт. энергии	A2R- 3	2	2	0,38	0,925	1	4	9,74
КЛ: Счётчик акт. энергии	A2R- 3	2	2	0,38	0,925	8	32	77,90
Итого	-	-	-	-	-	-	43	87,64

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{43^2 + 87,64^2} = 97,62 \text{ ВА}.$$

200 ВА > 97,62 ВА ⇒ выбран правильно.

Выбор основного электрооборудования ТП 10 кВ:

На ТП выбираем: выключатели нагрузки, предохранители.

Условия выбора выключателей нагрузки:

- по напряжению установки: $U_{ном} \geq U_{уст}$,
- по длительному току: $I_{ном} \geq I_{норм}$; $I_{ном} \geq I_{мах}$,
- проверка на электродинамическую стойкость: $i_{дин} \geq i_y$,
- проверка на термическую стойкость: $I_m^2 \cdot t_t \geq B_k = I_{п0}^2 (t_{отк} + T_a)$,
- по отключающей способности: $I_{отк.ном} \geq I_{отк.расч}$, $I_{вкл.ном} \geq I_{вкл.расч}$ (при отсутствии последовательно включенного предохранителя),

- по отключающей способности: $I_{отк.ном} \geq I_{по}$. (при наличии последовательно включенного предохранителя).

В качестве линейных выключателей нагрузки выбираю ВН/ЗР-10/1000-20УЗ. Результаты проверки показаны в таблице 16.

Таблица 16 – Проверка выбора выключателей нагрузки

ТП	Расчетные данные			Каталожные данные		
	$U_{уст}$	10	кВ	$U_{ном}$	10	кВ
I_{max}	330	А	$I_{ном}$	1000	А	
i_y	54	кА	$i_{пр.с}$	63	кА	
B_K	62	кА ² с	$I_{Тер}^2 \cdot t_{Тер}$	1200	кА ² с	
$I_{вкл.расч}$	20	кА	$I_{вкл.ном}$	20	кА	
$I_{отк.расч.}$	330	А	$I_{отк.ном}$	1000	А	

5.2.4 Выбор плавких предохранителей

Условия выбора плавких предохранителей:

- напряжению установки: $U_{ном} \geq U_{уст}$,
- длительному току: ном норм $I_{ном} \geq I_{ном}$; $I_{ном} \geq I_{max}$,
- отключающей способности: $I_{отк.ном} \geq I_{по}$,
- соответствие времятоковой характеристики предохранителя расчетным условиям защищаемой цепи.

Выбираю предохранитель ПКТ-10-1000–31,5-12,5УЗ. Результаты проверки показаны в таблице 17.

Таблица 17 – Параметры ПКТ-10-1000–31,5-12,5УЗ

ТП	Расчетные данные			Каталожные данные		
	$U_{уст}$	10	кВ	$U_{ном}$	10	кВ
I_{max}	330	А	$I_{ном}$	1000	А	
$I_{по}$	20	кА	$I_{отк.ном}$	31,5	кА	

5.2.5 Выбор разъединителей на 10 кВ

Условия выбора:

- по напряжению установки $U_{уст} < U_{дин}$;
- по длительному току $I_{max} < I_{дин}$;

- на электродинамическую стойкость $I_y < I_{дин}$;

- на термическую стойкость $B_k < I_{тер}^2 \cdot t$.

В соответствии с напряжением 10 кВ и учетом того, что РУ – 10 кВ выполнено комплектным выбираем для проверки разъединитель типа РВЗ – 10/1000 УЗ. Данные представлены в таблице 18. Для этого разъединителя по каталожным данным находим:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ}, I_{ном} = 1000 \text{ А}, I_{дин} = 63 \text{ кА}, I_t = 20 \text{ кА}, t = 4 \text{ с}.$$

Таблица 18 – Условие выбора и проверки разъединителя на 10 кВ

Расчетные величины	Номинальные параметры РВЗ - 10/1000 УЗ
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 330 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_y = 54 \text{ кА}$	$I_{дин} = 63 \text{ кА}$
$B_k = 62 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_t = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вывод по разделу. Было выбрано необходимое электрооборудование для подстанции поселка «Светлый», который находится в Республике Саха Якутия (ОПНз-110 УХЛ1, ВВ/ТЕL-10-20У2, ВН/ЗР-10/1000- 20УЗ, ПКТ-10-1000–31,5-12,5УЗ, РВЗ - 10/1000 УЗ).

6 Выбор релейной защиты и автоматики подстанции

6.1 Вакуумные выключатели ВВ/TEL-10

Вакуумные выключатели спроектированы для работы в электрических сетях переменного тока с частотой 50 Гц и номинальным напряжением до 10 кВ. Они предназначены для коммутации цепей в нормальных и аварийных режимах.

«Вакуумный выключатель ВВ-TEL-10 предназначен для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока с изолированной, компенсированной или заземленной нейтралью частоты 50 Гц с номинальным напряжением до 10 кВ. Гашение дуги переменного тока осуществляется в вакуумной дугогасительной камере с аксиальным магнитным полем. Дуга в таком поле находится все время в диффузионном состоянии, что существенно уменьшает износ, который не превышает 1 мм после исчерпания коммутационного ресурса» [14].

«Вакуумные выключатели подходят для использования в новых и модернизированных распределительных устройствах, а также на станциях и подстанциях. Они широко применяются в различных отраслях, включая нефтегазовую, нефтехимическую, химическую, горнорудную и другие, где требуется надежное распределение и потребление электроэнергии» [17].

6.2 Описание вакуумного выключателя ВВ/TEL-10

«В конце XX века вакуумный выключатель ВВ/TEL произвел переворот в мире коммутационной аппаратуры 6-10кВ и позволил совершить прорыв на пути создания современных КРУ высокой надежности, которые не требовали бы обслуживания коммутационного аппарата на протяжении всего срока службы. Легкость и неприхотливость конструкции ВВ/TEL позволяет

встроить выключатель в любую существующую ячейку КРУ или КСО или создать новую с уникальными потребительскими качествами» [8].

«Сегодня ВВ/TEL применяется на пяти континентах мира, чем подтверждает свое соответствие самым жестким требованиям эксплуатации.

Многообразие решений по применению вакуумных выключателей ВВ/TEL позволяет использовать аппарат как при модернизации существующих распределительных устройств, так и при новом строительстве» [9].

«Вакуумный выключатель ВВ/TEL в своём составе содержит коммутационный модуль серии ISM15, а также блок управления серий ВU/TEL-20-05А, БУ/TEL-12А или БУ/TEL-21. Блок управления ВU/TEL-220-05А используют исключительно совместно с блоком питания ВР/TEL-220-02А» [8].

6.3 Устройство и работа выключателей

«Выключатели ВВ/TEL соответствуют требованиям ГОСТ Р 52565, ТУ 3414 017-84861888-2010 (ТШАГ.674152.003) и предназначены для коммутации токов в различных режимах: операции «О», «В», «ВО», «ОВ» и циклах автоматического повторного включения, таких как «О - 0,3с – ВО», «О - 0,3с - ВО - 20с – ВО» и «О - 0,3с - ВО - 180с – ВО» [8].

Основные технические характеристики выключателей представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Технические характеристики выключателей

Параметры	Значение для модуля SM15 _LD_1	Значение для модуля ISM15 _LD_2	Значение для модуля ISM15 _Shell_2	Значение для модуля ISM15 _Shell_FT2
Номинальное напряжение, В	10	10	10	10
Номинальный ток, А	15	15	15	15
Максимальный ток, А	20	20	20	20
Номинальная отключающая способность, кА	10	10	10	10
Предельная отключающая способность, кА	15	15	15	15
Число полюсов	1	1	1	1
Вид расцепителя	Электронный	Электронный	Электронный	Электронный
Уставки по току, А	1-10	1-10	1-10	1-10
Уставки по времени, с	0,02-5	0,02-5	0,02-5	0,02-5
Габаритные размеры, мм	45×70×65	45×70×65	45×70×65	45×70×65

«Вакуумные выключатели серии ВВ/TEL используют принцип гашения дуги переменного тока в вакуумной дугогасительной камере при разведении контактов в глубоком вакууме (давление около 6-10мм рт. ст.). Ток проводится парами металла, образующимися при горении дуги. Из-за отсутствия среды в межконтактном промежутке пары металла быстро конденсируются (за 5-10 с) при переходе тока через ноль, что приводит к быстрому восстановлению изоляционных свойств камеры. Высокая электрическая прочность вакуума (более 30 кВ/мм) обеспечивает отключение тока даже при расхождении контактов на 1 мм» [12].

Вакуумные выключатели производства «Таврида Электрик» отличаются от традиционных масляных, вакуумных и элегазовых выключателей своей модульной конструкцией.

Коммутационный модуль выполняет коммутацию тока и гашение дуги.

Модуль управления, или блок управления, или электронный модуль управления (для организации быстрого АВР) обеспечивает управление коммутационным модулем. Внешний вид оборудования представлен на рисунках 6, 7, 8, 9.



Рисунок 6 – Внешний вид модулей ISM15_Shell_2, ISM15_Shell_FT2



Рисунок 7 – Внешний вид модулей ISM15_LD_1



Рисунок 8 – Внешний вид блоков управления БУ/TEL-100/220-12-03А (слева) и БУ/TEL-100/220-12-01А (справа)



Рисунок 9 – Внешний вид модулей управления TER_CM_16_1 (сверху) и TER_CM_16_2 (снизу)

«Коммутационные модули имеют три полюса, установленные на металлическом основании, с электромагнитными приводами для каждого полюса. Принцип «магнитной защёлки» позволяет удерживать модуль в включенном положении бессечно после прерывания тока в катушке электромагнита привода. Основные узлы модуля расположены в защитном изоляционном корпусе из прочного изоляционного материала (поликарбонат для ISM15_LD_1 и ISM15_LD_2, мензолит для ISM15_Shell_2 и ISM15_Shell_FT2), обеспечивающем защиту от механических повреждений» [15]. Разрез полюса коммутационного модуля показан на рисунке 10.

Коммутационный модуль включает три полюса, закрепленных на металлическом основании. «Каждый полюс имеет электромагнитный привод и вакуумную дугогасительную камеру (ВДК/TEL)» [19].

«Неподвижные контакты ВДК соединяются с верхними терминалами модуля посредством конусной посадки. Подвижные контакты ВДК механически связаны с приводами через тяговые изоляторы. Электрическая связь обеспечивается гибкими токосъемами, подключаемыми к нижним терминалам каждого полюса. Верхний и нижний терминалы крепятся на опорном изоляторе, который, в свою очередь, установлен на металлическом П-образном основании» [18].

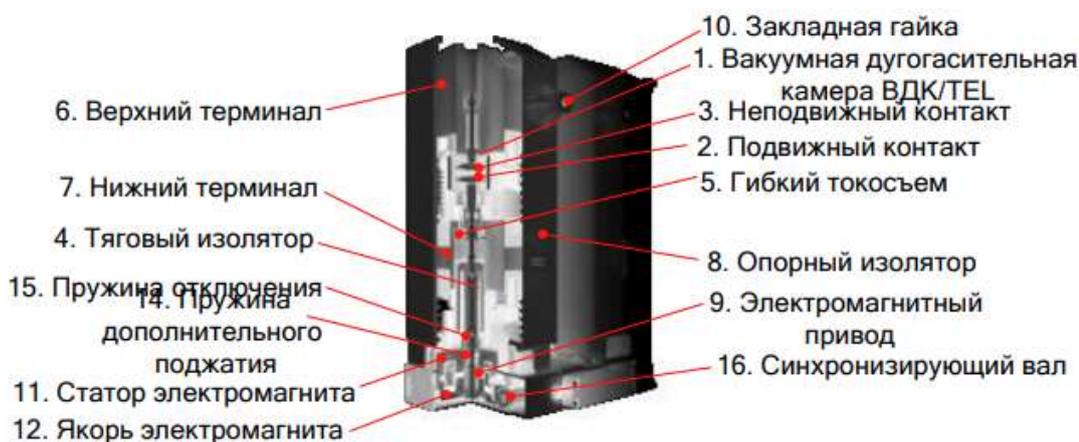


Рисунок 10 – Разрез полюса коммутационного модуля: сверху – ISM15_LD_1; снизу – ISM15_Shell_2

В коммутационном модуле подвижные элементы на каждом полюсе перемещаются линейно вдоль вертикальной оси во время коммутации. Эта конструкция упрощает кинематическую схему и исключает необходимость в шарнирах и рычагах под нагрузкой, повышая надежность модуля [22]. Благодаря отсутствию необходимости в регулировках и ремонте устройство обеспечивает длительный срок службы без потери эффективности в течение заданного механического ресурса.

Коммутационный модуль состоит из трех полюсов .

Все элементы расположены внутри опорного изолятора для защиты от повреждений и загрязнений. Опорные изоляторы имеют закладные гайки для крепления.

Полюса соединены синхронизирующим валом (16), который обеспечивает одновременное переключение вакуумных дугогасительных камер во всех трех полюсах. На вал также установлены:

Кулачок (17). Управляет микропереключателями (18), которые функционируют как блок-контакты во вспомогательных цепях (управление, сигнализация).

Две дополнительные тяги (в ISM15_Shell_2 и ISM15_Shell_FT2). Соединяются с индикатором положения главных контактов.

Основные отличия ISM15_Shell_2 и ISM15_Shell_FT2 от ISM15_LD_1 и ISM15_LD_2:

Тяговые изоляторы и контактные терминалы особой формы. Измененная геометрия повышает электрическую прочность и снижает вероятность перекрытий.

Гибкий токосъем улучшает токораспределение и предотвращает перегрев контактных соединений.

Двухразрывный привод на основе «магнитной защелки» обеспечивает надежную фиксацию подвижных контактов в обоих положениях (включено/выключено).

Механизм блокировки предотвращает случайное включение или выключение привода.

«Индикатор положения главных контактов с гибкой связью обеспечивает визуальную индикацию положения контактов и устраняет необходимость использования жестких механических соединений» [3].

«В ходе исследований и экспериментов была разработана серия малогабаритных вакуумных дугогасительных камер четвертого поколения. Эти камеры обладают высокой надежностью, низким переходным сопротивлением, стойкостью к свариванию и повышенной коммутационной способностью, позволяющей коммутировать токи до 31,5 кА» [12]. При этом габариты и масса вакуумной дугогасительной камеры четвертого поколения

значительно меньше, чем у аналогичной камеры третьего поколения с более низкими эксплуатационными параметрами.

«В коммутационном модуле используется современная вакуумная дугогасительная камера с особыми контактами. При размыкании контактов (отключении цепи) их форма создает аксиальное магнитное поле, перпендикулярное поверхности контактов. Это поле удерживает электрическую дугу в безопасном диффузном состоянии, минимизируя ее разрушающее воздействие на контактные поверхности. Благодаря этому износ контактов в вакуумной камере за весь срок службы составляет не более 1 мм» [11].

Для изготовления вакуумных дугогасительных камер используется передовая технология, исключая традиционную штенгельную откачку воздуха. Вместо этого камеры помещаются в вакуумную печь, где они подвергаются спеканию и выдержке при строго контролируемых условиях. Этот процесс обеспечивает низкое остаточное давление и высокое качество сборки. Вид вакуумных дугогасительных камер показан на рисунке 11.



Рисунок 11 – Внешний вид вакуумных дугогасительных камер III (слева) и IV (справа) поколений

Ключевым компонентом вакуумной дугогасительной камеры является сильфон. В конструкции используется сварной сильфон, который существенно снижает риск появления трещин и обеспечивает превосходные эксплуатационные характеристики. Благодаря этому камера сохраняет высокие рабочие параметры на протяжении всего срока службы.

«При включении на управляющий модуль подается команда, которая активирует разряд включающего конденсатора на катушку электромагнитного привода, управляющего коммутационным модулем» [5].

«В результате по обмотке электромагнитного привода начинает протекать ток, создавая электромагнитную силу притяжения между якорем и статором. Эта сила растет по мере увеличения тока, пока не превысит силу сопротивления пружины отключения» [6].

«В этот момент якорь привода начинает перемещаться к статору, приводя в движение тяговый изолятор и подвижный контакт вакуумной дугогасительной камеры. При этом происходит сжатие пружины отключения и пружины дополнительного поджатия, что приводит к уменьшению зазоров и увеличению силы притяжения якоря» [7].

«Использование возрастающей электромагнитной силы для ускорения подвижного контакта вакуумной дугогасительной камеры до оптимальной скорости включения предотвращает дребезжание контактов при их соприкосновении. Это снижает вероятность пробоя вакуумного промежутка до момента замыкания контактов» [8].

«При замыкании контактов электромагнитного реле ток в обмотке начинает расти, индуцируя противо-ЭДС, которая препятствует дальнейшему нарастанию тока. Когда якорь достигает статора, он останавливается и больше не индуцирует противо-ЭДС. Это приводит к резкому увеличению тока, необходимого для насыщения якоря и статора до требуемых магнитных свойств. Несмотря на то, что якорь останавливается, он остается притянутым к статору магнитным полем обмотки, обеспечивая надежную фиксацию контактов» [15].

«Когда якорь и статор электромагнитного реле намагничиваются до насыщения, они генерируют мощный остаточный магнитный поток. Этот поток способен удерживать якорь привода (и, следовательно, контакты модуля) во включенном положении даже после отключения питания конденсаторных батарей модулей управления. Такой способ включения и

удержания выключателя во включенном состоянии основан на принципе магнитной защелки» [8].

Модуль надежно удерживается во включенном состоянии за счет достаточной силы удержания, даже при вибрациях. Пружина отключения накапливает энергию. При перемещении якоря пружина отключения сжимается, накапливая энергию. Движение якоря управляет вспомогательными контактами. «Перемещение якоря передается на синхронизирующий вал, который поворачивается и управляет вспомогательными контактами» [10].

Осциллограммы работы коммутационного модуля в цикле В-О представлена на рисунке 12.



Рисунок 12 – Осциллограммы работы коммутационного модуля в цикле В-О

«Коммутационные модули ISM15 имеют запас по усилию удержания, обеспечивающий надежную фиксацию якоря во включенном положении: ISM15_LD_1 и ISM15_LD_2: 450-500 Н на полюс, ISM15_Shell_2 и ISM15_Shell_FT2: 2000 Н на полюс» [15].

В случае обрыва цепи катушки электромагнита одного из полюсов:

- коммутационный модуль не удерживается во включенном положении,
- якорь перемещается, отключая вспомогательные контакты,

–это предотвращает работу выключателя в неполнофазном режиме.

Отключение.

«При подаче команды отключения модуль управления разряжает предварительно заряженный отключающий конденсатор. Конденсатор обеспечивает протекание тока через обмотку в течение 15-20 мс в направлении, противоположном току включения» [13].

«Этот ток отключения частично размагничивает магнитную систему (якорь/статор). В результате значение намагниченности снижается до уровня, при котором якорь под действием отключающей пружины начинает перемещаться вниз» [15].

«Пружина отключения и дополнительная пружина поджатия контактов при совместном воздействии преодолевают силу магнитного притяжения между якорем и статором. Возникающий воздушный зазор резко уменьшает силу притяжения. Пружины отключения и поджатия быстро разгоняют якорь. После 2 мм свободного хода якорь, двигаясь далее, ударно разгоняет подвижный контакт дугогасительной камеры. Эта ударная энергия разрывает точки микросварки на поверхностях контактов» [8].

Ручное отключение.

Для ручного отключения выключателя ВВ/TEL с коммутационными модулями ISM15_Shell_2 или ISM15_Shell_FT2 выполните следующие действия:

Поверните блокировочный вал против часовой стрелки.

Для ручного отключения выключателя ВВ/TEL с коммутационными модулями ISM15_LD_1 или ISM15_LD_2 выполните следующие действия:

Нажмите кнопку ручного отключения.

Толкатель кнопки нажмет на шарнирно соединенный с валом (16) шарнир, который затем отключит выключатель.

Ручное включение.

В схему управления выключателя батареи интегрированы малогабаритные конденсаторы, которые позволяют осуществлять первое

включение выключателя ВВ/TEL на обесточенной подстанции с помощью различных устройств питания, подключаемых к низковольтному входу блоков управления ВU/TEL-12-03А и ВU/TEL-05А:

- 2 последовательно соединенные батарейки по 9 В типа «КРОНА»,
- ВМВ/TEL,
- аккумуляторная батарея 12-24 В.

Включение оборудования при отсутствии оперативного питания [20].
Для включения вакуумного выключателя ВВ/TEL с блоками управления ВU/TEL-12-03А или ВU/TEL-05А при отсутствии рабочего напряжения выполните следующие действия:

Преобразователь повышает напряжение питания до требуемого уровня.
Батарея конденсаторов заряжается менее чем за 1 минуту.

Выключатель готов к выполнению операций «В» или «ВО».

Для блоков управления ВU/TEL-100/220-21-00, СМ_1501_01(4), TER_СМ_16_1, TER_СМ_16_2, TER_СМ_16_FT подключите ручной генератор TER_СBunit_ManGen_1 к входу «Питание» блока управления.

Модули управления:

«Модули управления вакуумных выключателей встроены в распределительные устройства и предназначены для управления (включения и отключения) выключателем от источника постоянного, выпрямленного или переменного оперативного тока. Они также обеспечивают блокировку от повторного включения, отключение от трансформаторов тока при отсутствии напряжения питания и другие дополнительные функции» [14].

«Если полярность подключения цепей от модуля управления к электромагнитному приводу перепутана, коммутационный модуль может не включиться с первого раза. Тем не менее, он гарантированно включится со второго раза» [15].

6.4 Выбор терминала защиты

Микропроцессорное устройство защиты «Сириус».

Изготовитель: ООО НПО «ЭКРА» (г. Чебоксары).

Функции:

- максимальная токовая защита (МТЗ): трехступенчатая МТЗ с независимой выдержкой времени;
- дифференциальная защита: двухступенчатая дифференциальная защита.

Дополнительные возможности:

- возможность работы по двум независимым входам тока,
- наличие встроенной светодиодной индикации состояния,
- возможность вывода параметров защиты на внешний дисплей или ПК,
- самодиагностика и сигнализация неисправностей.

«Устройства «Сириус-2-Л» и «Сириус-21-Л» предназначены для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации присоединений напряжением 3–35 кВ» [15].

«Сириус-2-Л» и «Сириус-21-Л» отличаются друг от друга порядком нумерации клеммников» [15].

«Устройства содержат функцию СПЛ – свободно программируемой логики. СПЛ позволяет расширить функциональные возможности терминала и адаптировать его работу под конкретный объект. Установка редактора СПЛ доступна при обновлении ПО «Старт-3» [15].

«Устройства имеют специальное исполнение «И5», обеспечивающее наиболее полный функционал при построении «цифровых подстанций» и развертывании «Smart Grid». [15]

«Устройства имеют специальное исполнение «БПТ», предназначенное специально для применения на подстанциях с переменным оперативным током» [15].

«Устройство дифференциальной защиты и автоматики РС83-ДТ2 предназначено для использования в схемах РЗА электрических машин, трансформаторов, для их защиты от коротких замыканий и от перегрузок» [8].

«Питание устройств РС83-ДТ2 может осуществляться от источника как постоянного, так и переменного оперативного тока. Для питания защит в аварийных режимах имеется резервный источник с питанием от токовых цепей. Время срабатывания защит при питании только от токовых цепей может увеличиваться не более, чем на 0,15с.» [15].

«ЖК индикатор на 16 разрядов и кнопки управления с индикаторами на передней панели служат для контроля входных параметров, параметров работы устройства и изменения уставок и настроек» [16].

«Устройство снабжается интерфейсами RS-485 (протокол MODBUS RTU) и USB для передачи данных, контроля параметров и изменения настроек и уставок» [7].

В составе устройства предусмотрены журнал аварий, журнал событий и цифровой осциллограф.

«Устройство дифференциальной защиты и автоматики РС83-ДТ2 обеспечивает:

- 2-х ступенчатая дифзащита. Первая ступень – дифференциальная отсечка (ДО), вторая ступень – чувствительная дифференциальная защита с торможением (ДТЗ);
- 4-х ступенчатая максимально-токовая защита (МТЗ) с независимой выдержкой времени. Функция МТЗ для каждой ступени подключается к трансформаторам тока стороны ВН или НН силового трансформатора;
- для любой ступени МТЗ, ДО и ДТЗ возможен режим с блокировкой от броска намагничивающего тока (БНТ);
- для любой ступени ДО и ДТЗ возможен режим с блокировкой от перевозбуждения;

- устройство может работать с трансформаторами, имеющими любую группу соединений (0-11, задаётся уставкой);
- 2-х ступенчатая защита от несимметричной нагрузки или обрыва фаз по току обратной последовательности с выбором стороны ВН или НН независимо для каждой ступени;
- 2-х ступенчатая направленная защита от замыканий на землю (ЗНЗ) по измеренному или расчетному току (независимо для каждой ступени) нулевой последовательности $3I_0$ с пуском по $3U_0$;
- постоянное измерение фазных токов и индикация фактических действующих значений тока;
- запоминание параметров срабатывания защиты и автоматики в журнале аварий для 100 событий (с фиксацией вида защиты, значения тока и времени срабатывания);
- запоминание параметров изменения конфигурации в журнале событий для 200 событий;
- цифровое осциллографирование с общим временем записи 60с;
- светодиодная индикация исправности устройства, срабатывания защит и состояния дискретных входов;
- самодиагностика устройства» [21].

Вывод по разделу. Была выбрана необходимая релейная защиты и автоматика для подстанции поселка «Светлый», который находится в Республике Саха Якутия (ВВ/TEL-10-20У2, «Сириус-2-Л»).

7 Безопасность жизнедеятельности

Электробезопасность. Электробезопасность на подстанции 110/10 кВ обеспечивается соблюдением правил техники безопасности и производственных инструкций, использованием средств индивидуальной защиты, выполнением организационно-технических мероприятий и соблюдением правил пожарной безопасности.

Персонал, работающий на подстанции, должен быть обучен по электробезопасности, иметь соответствующую квалификацию и допуск к работе. Все сотрудники обязаны проходить инструктаж по охране труда и пожарной безопасности.

Для обеспечения электробезопасности на подстанции необходимо использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ):

- диэлектрические перчатки и боты;
- защитные очки;
- каски;
- спецодежда.

СИЗ должны быть исправны и соответствовать требованиям ГОСТ и отраслевым нормам.

Организационно-технические мероприятия по обеспечению электробезопасности включают в себя:

- ограждение и обозначение опасных зон;
- использование устройств защитного отключения (УЗО);
- установка знаков безопасности;
- обеспечение надлежащего освещения;
- проведение регулярных проверок и испытаний электрооборудования.

В случае возникновения аварийной ситуации на подстанции необходимо незамедлительно отключить электрооборудование, сообщить о происшествии ответственному лицу и вызвать скорую помощь при необходимости.

Пожарная безопасность на подстанции обеспечивается соблюдением правил противопожарного режима, использованием средств пожаротушения и выполнением противопожарных мероприятий.

Персонал, работающий на подстанции, должен быть обучен по пожарной безопасности и иметь соответствующий допуск. Все сотрудники обязаны проходить инструктаж по пожарной безопасности.

На подстанции должны быть установлены средства пожаротушения: огнетушители, гидранты, пожарные рукава и песок. Средства пожаротушения должны быть исправны и соответствовать требованиям ГОСТ и отраслевым нормам.

Противопожарные мероприятия на подстанции включают в себя:

- удаление горючих материалов из опасных зон;
- обеспечение свободного доступа к средствам пожаротушения;
- проведение регулярных проверок пожарной сигнализации;
- соблюдение правил хранения взрывоопасных веществ.

В случае возникновения пожара на подстанции необходимо незамедлительно отключить электрооборудование, вызвать пожарную охрану, сообщить о происшествии ответственному лицу и приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения.

Меры безопасности при осмотре и ремонте электрооборудования, находящегося под напряжением.

Организационные мероприятия:

- издать наряд-допуск на выполнение работ,
- ознакомить персонал с нарядом-допуском, мерами безопасности, схемой электроустановки,
- провести целевой инструктаж по охране труда,
- оформить допуск к работе,
- установить ответственного руководителя и производителя работ,
- установить границы рабочей зоны и оградить ее,
- обеспечить связь с диспетчером,

–убедиться в наличии и исправности средств защиты и инструмента.

Технические мероприятия:

- провести осмотр рабочего места и оборудования,
- вывесить запрещающие плакаты на приводах высоковольтных выключателей и разъединителей,
- наложить заземление на участки и части оборудования, которые могут быть случайно задеты при работе,
- установить указатели напряжения,
- использовать изолирующие и диэлектрические средства защиты: диэлектрические перчатки, боты, ковры и т.д.,
- при необходимости использовать штанги,
- производить работы только с применением диэлектрического инструмента.

Во время работы:

- входить в рабочую зону только после получения разрешения,
- работать только в исправных средствах защиты,
- не приближаться к токоведущим частям ближе допустимого расстояния (не менее 0,5 м для напряжения 110 кВ и 0,3 м для напряжения 10 кВ),
- не касаться заземленных частей оборудования,
- использовать переносные лампы низкого напряжения (до 12 В),
- при работе с штангами соблюдать осторожность, чтобы не задеть токоведущие части,
- не оставлять инструмент и материалы вне рабочей зоны.

По окончании работ:

- снять запрещающие плакаты.
- убрать заземление.
- сдать средства защиты.
- оформить окончание работ в наряде-допуске.
- доложить диспетчеру о завершении работ.

- дополнительные меры
- работы выполнять в светлое время суток.
- применять средства связи для подачи команд и передачи информации.
- использовать изолирующие подставки и ограждения.
- вести постоянный надзор за выполнением мер безопасности.
- при обнаружении нарушений немедленно прекратить работу и доложить ответственному руководителю.

Вывод по разделу. Была представлена безопасность жизнедеятельности на подстанции поселка «Светлый», который находится в Республике Саха Якутия. Персонал, работающий на подстанции, должен быть обучен по электробезопасности, иметь соответствующую квалификацию и допуск к работе. Пожарная безопасность на подстанции обеспечивается соблюдением правил противопожарного режима, использованием средств пожаротушения и выполнением противопожарных мероприятий. Меры безопасности при осмотре и ремонте электрооборудования, находящегося под напряжением, обеспечиваются соблюдением организационных и технических мероприятий.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был рассмотрен выбор оптимального варианта реконструкции понизительной подстанции 110/10 кВ для обеспечения электроснабжения поселка «Светлый» в Республике Саха (Якутия).

Исследование включало в себя расчет электрических нагрузок и токов короткого замыкания, подбор и расчет оборудования распределительных устройств ОРУ-110 и ЗРУ-10 кВ подстанции.

Результаты:

- выбрано оборудование, обеспечивающее надежное электроснабжение поселка,
- модернизирован трансформаторный парк с установкой двух новых трансформаторов,
- реконструированная подстанция позволит обеспечить электроэнергией новые промышленные предприятия,
- перспектива развития района – до 25 лет.

Выбранное оборудование соответствует требованиям к электрооборудованию электрических сетей. Произведена установка современных вакуумных выключателей ВВ/TEL-10-20У2, а также оборудования такого как:

- ОПНз-110 УХЛ1,
- ВН/ЗР-10/1000- 20У3,
- ПКТ-10-1000–31,5-12,5У3,
- РВЗ - 10/1000 У3.

Использование нового оборудования как минимум на 20 лет решит проблему электроснабжения поселка.

Реконструкция подстанции обеспечит качественное электроснабжение поселка и покроет потребности в электроэнергии на долгосрочную перспективу.

Список использованных источников

1. ГОСТ 183-74 Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия. – Взам. ГОСТ 183-66; введ. 1976-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – введ. 2014-07-01. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» 2014. – 20 с.
3. Киреева Э.А., Орлов В.В., Старкова Л.Е. Электроснабжение цехов промышленных предприятий. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2004.
4. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкция и механический расчет линий электропередачи. Л.: Энергия, 1979.
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 1989.
7. Ополева, Г.Н. Электроснабжение: учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. Иркутск: ИрГУПС, 2008. – 328 с.
8. Правила устройства электроустановок: седьмое изд. с изменениями, исправлениями и дополнениями, принятыми Главгосэнергонадзором РФ с 1.12.1999 по 1.1.2007. М.: ЭНАС, 2007.
9. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992.
10. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств: Справочное пособие. М.: Высшая школа, 2007.
11. Самолина О.В. Релейная защита понизительной трансформаторной подстанции: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2007.

12. Степанова Т.Б. Учебное пособие по выполнению экономической части дипломного проекта специальности 140211 «Электроснабжение». Ангарск: изд-во АГТА, 2007.
13. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. М.: Энергия, 1979.
14. Шевченко Н.Ю. Электроснабжение: учебное пособие. Волгоград: ВГТУ, 2006.
15. Щербаков Е.Ф., Дубов А.Л. Распределение электрической энергии на предприятиях: учебное пособие. Ульяновск: УГТУ, 2006.
16. Bayliss C., Hardly B/ Transmission and Distribution Electrical Engineering. Newnes, 2012. – 1180 с.
17. Gers J. M., Holmes E. D. Protection of Electricity Distribution Networks, 3rd Edition (Energy Engineering). The Institution of Engineering and Technology, 2011. – 368 с.
18. Hewitson Leslie G. Practical System Protection (Practical Professional Books). Newnes, 2005. – 290 с.
19. Lakervi E., Holmes E.J. Electricity Distribution Network Design, 2nd Edition (Energy Engineering). The Institution of Engineering and Technology, 2005. – 338 с.
20. Mcdonald J.D. Electric Power Substations Engineering. Mayami: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. – 593с
21. Steimel A. Electric traction motive power and energy supply. Basics and practical experience. Munchen: Oldenbourg Industrieverlag, 2008. – 334 p.
22. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Determination of the induced voltages when nonparallel power lines are adjacent to one another // Power Technology and Engineering. – Vol. 49, No. 4. – 2015. – P. 304-309.