

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

Н.В. Савина
« ____ » _____ 20__ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Развитие системы внутреннего электроснабжения напряжением 6 кВ горно-гидрометаллургического комбината «Пионер» на период до 2025 года.

Исполнитель
студент группы 742-узб

подпись, дата

С.Э. Раздобудко

Руководитель
профессор,
канд.техн.наук, доцент

подпись, дата

Ю.В. Мясоедов

Консультант по
безопасности и
экологичности
доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
ст. преподаватель

подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина

« _____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Раздобудко С.Э.

1. Тема выпускной квалификационной работы: Развитие системы внутреннего электроснабжения напряжением 6 кВ горно-гидрометаллургического комбината «Пионер» на период до 2025 года.

(утверждена приказом от 19.05.2021г. №575-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: схема внутреннего электроснабжения 6 кВ ГГМК Пионер, план вводимого корпуса измельчения с расстановкой двигателей и оборудования.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): характеристика района проектирования, низковольтное электроснабжение блока измельчения, высоковольтное электроснабжения блока измельчения, выбор и проверка оборудования 6 кВ, режимы нейтралей сетей, релейная защита и автоматика, загрузка ПС Пионер с учётом развития, заземление и молниезащита, расчёт надёжности системы электроснабжения 6 кВ, безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план блока измельчения с разводкой сетей 0,4-6 кВ, варианты развития сетей 6 кВ, микропроцессорная защита кабельной линии 6 кВ, однолинейная схема 0,4 кВ блока измельчения, однолинейная схема КТП 6/0,4 кВ, план и разрез КТП 6/0,4 кВ, однолинейная схема РП 6 кВ, план и разрез РП 6 кВ.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): Безопасность и экологичность – Булгаков А.Б.

7. Дата выдачи задания _____

Руководитель выпускной квалификационной работы: _____

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 134 с, 19 рисунков, 44 таблицы, 30 источников, 113 формул.

ГОРНО-ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ ОДНОЛИНЕЙНАЯ СХЕМА, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ, ПИТАЮЩАЯ СЕТЬ, ШАРОВАЯ МЕЛЬНИЦА, ЛИНИЯ ФЛОТАЦИИ, БЛОК ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, НАСОС, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ПУНКТ, СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, КАБЕЛЬНАЯ ЭСТАКАДА, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ НАГРУЗКИ, ТРАНСФОРМАТОР.

В выпускной квалификационной работе рассчитаны нагрузки 0,4 кВ на шинах ТП для питания корпуса измельчения и нагрузки 6 кВ на шинах РП-6. Так как РП-6 кВ и ТП-4 находятся в работе, от РП-6 кВ планируется подключить планируемые 3 линии флотации по аналогии с существующей. РП-6 в таком случае планируется расширить и предусмотреть возможность сооружения нового РП. Нагрузка ТП-4 определяется в соответствии с планом расстановки оборудования корпуса измельчения. В ходе расчётов проверяется существующее оборудование и выбирается новое для обеспечения развития горно-гидрометаллургического комбината «Пионер» на период до 2025 года

В разделе безопасность и экологичность приведены меры безопасности, рассчитан маслоприёмник для силовых трансформаторов вводимой ТП-4.

Полученные результаты расчётов могут быть использованы при проектировании распределительной электрической сети 6 кВ горно-гидрометаллургического комбината «Пионер» на период до 2025 года.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	7
Введение	8
1 Характеристика района проектирования	11
1.1 Климатическая характеристика проектирования	11
1.2 Характеристика источников питания	12
1.3 Характеристика внутриплощадочных сетей	13
2 Низковольтное электроснабжение блока измельчения	16
2.1 Низковольтная нагрузка 0,4 кВ	16
2.2 Выбор схемы электроснабжения цеха напряжением 0,4 кВ	26
2.3 Картограмма нагрузок блока измельчения	27
2.4 Выбор и проверка кабелей 0,4 кВ	30
2.5 Проверка проводников напряжением 0,4 кВ блока измельчения	32
2.6 Выбор оборудования напряжением 0,4 кВ блока измельчения	35
2.6.1 Выбор силовых распределительных щитов	35
2.6.2 Выбор автоматических выключателей	35
2.6.3 Выбор трансформаторов тока	38
2.7 Расчет токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ блока измельчения	40
2.8 Проверка оборудования блока измельчения напряжением 0,4 кВ	45
2.8.1 Проверка распределительных шкафов блока измельчения	45
2.8.2 Проверка автоматических выключателей	46
2.8.3 Проверка трансформаторов тока	49
3 Высоковольтное электроснабжения блока измельчения	51
3.1 Выбор номинального напряжения	51
3.2 Расчёт нагрузок трансформаторной подстанции	51
3.3 Выбор силовых трансформаторов 6/0,4 кВ блока измельчения	51
3.4 Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции блока измельчения	52

3.5 Нагрузка трансформаторной подстанции блока измельчения на стороне 6 кВ	53
3.6 Выбор вариантов развития внутреннего электроснабжения 6 кВ	55
3.7 Техникоэкономическое обоснование вариантов схем внутреннего электроснабжения	65
3.8 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	66
3.9 Проверка кабелей 6 кВ на воздействие токов КЗ	71
4 Выбор и проверка оборудования 6 кВ	73
4.1 Выбор и проверка распреустройства 6 кВ	73
4.2 Выбор и проверка выключателей 6 кВ	74
4.3 Выбор и проверка трансформаторов тока 6 кВ	77
4.4 Выбор и проверка трансформаторов напряжения 6 кВ	81
4.5 Выбор и проверка шин 6 кВ	82
4.6 Выбор и проверка предохранителей 6 кВ	85
4.7 Выбор и проверка изоляторов 6 кВ	86
4.8 Выбор и проверка ограничителей перенапряжений 6 кВ	87
4.9 Выбор и проверка выключателей нагрузки 6 кВ	89
4.10 Выбор и проверка трансформаторов собственных нужд	90
5 Режимы нейтралей сетей	92
6 Релейная защита и автоматика	94
6.1 Токовая отсечка без выдержки времени	94
6.2 Максимальная токовая защита линий	96
6.3 Защита от однофазных замыканий на землю	97
6.4 Устройства автоматического включения резерва	99
6.5 Токовая отсечка для электродвигателей 6 кВ	99
6.6 Максимальная токовая защита для электродвигателей 6 кВ	101
7 Загрузка подстанции Пионер с учётом развития	103
7.1 Компенсация реактивной мощности на подстанции Пионер	103
7.2 Проверка загрузки силовых трансформаторов на подстанции Пионер	105
8 Заземление и молниезащита	107

8.1 Устройство молниезащиты	107
8.2 Устройство заземления	107
9 Расчёт надёжности системы электроснабжения 6 кВ	113
10 Безопасность и экологичность	121
10.1 Безопасность проекта	121
10.2 Экологичность проекта	124
10.3 Чрезвычайные ситуации	128
Заключение	131
Библиографический список	132

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

ВЛ – воздушная линия;

ГГМК - горно-гидрометаллургический комбинат;

КЗ – короткое замыкание.

КПД – коэффициент полезного действия;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

ПАО – публичное акционерное общество;

ПВ - продолжительность включения;

ПВХ – поливинилхлорид;

ПС – подстанция;

РУ – распределительное устройство;

СД – синхронный двигатель;

ТП - трансформаторная подстанция;

ШРС – шкаф распределительный силовой.

ВВЕДЕНИЕ

Горнодобывающие компании относятся к числу энергоемких производств. В своей производственной деятельности Компания использует следующие первичные источники энергии: бензин, керосин, дизельное топливо, электричество. Электроснабжение предприятий ГГМК «Пионер» производится по сетям под напряжением 110 кВ, поставка электрической энергии осуществляется по договорам электроснабжения с поставщиком Амурской области ПАО «Дальневосточная энергетическая компания». Исходя из производственной мощности золотодобывающих предприятий на территории Российской Федерации горно-гидрометаллургический комбинат (ГГМК) «Пионер» считается одним из крупнейших. ГГМК «Пионер» входит в группу компаний «Петропавловск», при этом в 2020 году вклад ГГМК «Пионер» составляет 22% в общий объем производства Группы. Добыча руды в ГГМК «Пионер» осуществляется в данный момент из трех карьеров. Для развития и наращивания мощностей предприятия проводится активная геологоразведка на перспективных поисковых площадях. С третьего квартала 2016 года применяется открытый способ добычи в северо-восточной части карьера. В настоящее время применяется как открытый, так подземный способ добычи руды. На 31 декабря 2020 года в ГГМК «Пионер» величина измеренных и предполагаемых минеральных ресурсов составляет 4,96 млн унций золота, из которых 2,72 млн унций считаются доказанными вероятными запасами по системе JORC.

Окисленные и упорные руды образуют рудные тела в ГГМК «Пионер». Применяемая технология для переработки окисленных руд в круглогодичном цикле - «Смола в пульпе» («RIP»). Объем переработки по данной технологии - 6,7 млн т в год.

Развитие ГГМК «Пионер» началось со стадии гринфилд в 2001 году. Предприятия группы компаний «Петропавловск» осуществляет различные работы от геологоразведки до строительства. ГГМК Пионер введен в эксплуата-

цию в 2008 году и вышел на производственную мощность 6,7 млн т руды в год с момента 2001 года.

С 2017 года применяется подземный способ добычи руды на месторождении Пионер.

В официальном отчёте по итогам работы за 2020 год анонсирован пуск двух новых линий флотации 3,6 млн. тонн руды во 2 квартале 2021 года и дальнейшее увеличение флотационных мощностей до 5,6-6 млн. тонн руды в год.

Исходя из имеющейся информации о масштабах развития ГГМК «Пионер» требуется предусмотреть возможность развития системы внутреннего электроснабжения 6 кВ ГГМК «Пионер» на ближайшие 5 лет, что обосновывает актуальность работы.

В связи с отмеченной выше актуальностью работы ставится цель выполнения данной работы – спроектировать систему внутреннего электроснабжения напряжением 6 кВ горно-гидрометаллургического комбината «Пионер» на период до 2025 года.

Задачи решаемые по мере выполнения работы:

1 – характеристика района проектирования, существующей схемы электроснабжения ГГМК «Пионер» 6 кВ;

2 – обоснование направлений развития системы внутреннего электроснабжения напряжением 6 кВ горно-гидрометаллургического комбината «Пионер»

3 – расчёт электрических нагрузок

4 – выбор и проверка электрических аппаратов и оборудования

5 - расчёт токов КЗ в системе электроснабжения 0,4-6 кВ месторождения

6 - выбор средств релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения месторождения

7 - оценка надёжности предлагаемой схемы электроснабжения месторождения

Объектом исследования в представленной работе является оборудование блоков измельчения. Предметом исследования – электроснабжение блоков измельчения, [1].

Различные методы сбора первичной информации и систематизации были использованы при написании бакалаврской работ, а также программные средства на ПЭВМ - MS Office-2017, MS Visio-2017, Mathtype 5.0.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1 Климатическая характеристика проектирования

ГГМК «Пионер» располагается на территории Зейского района, который занимает весь северо-восток Амурской области. Границы Зейского района образуют на западе территориальное деление с Тындинским районом, на севере – с Республикой Саха (Якутия), на востоке – с Хабаровским краем, на юго-востоке – с Селемджинским и Мазановским районами, на юге – с Шимановским районом, на юго-западе – с Магдагачинским районом. Зейский район является самым крупным по площади, которая составляет 87,5 тыс. кв. км.

Местность расположения ГГМК «Пионер» характеризуется повышенной сейсмичностью и в целом сложными гидрогеологическими условиями, связанными с негативным влиянием вод Зейского водохранилища. Если придерживаться действующего законодательства и нормативных документов (СНиП 11-7-81 «Строительство в сейсмических районах») и комплекту карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-97) А, В и С, территория расположения ГГМК «Пионер» относится к районам с высокой степенью сейсмической опасности, что выражается в частности величиной возможной амплитуды землетрясений в 8 баллов по шкале MSK-64. Расстояние до Благовещенска автомобильным транспортом составляет 650 км. Транспортная доступность до ближайшей железнодорожной станции Тыгда, относящейся к Забайкальской железнодорожной магистрали составляет 104 км.

Характеристика климата показана в таблице 1.

Таблица 1 - Климатические условия района

Наименование	Значение
Нормативная толщина стенки гололеда b_r , мм	25 (IV район)
Максимальный скоростной напор ветра, Па (скорость ветра, м/с)	650(32)
Скоростной напор ветра при гололёде, Па (скорость ветра, м/с)	160(16)
температура воздуха, °С	
максимальная	+35
минимальная	-50
среднегодовая	-5
Среднегодовая продолжительность грозы	40-60 часов
Сейсмичность площадки, баллы по шкале MSK-64	7

1.2 Характеристика источников питания

Источником питания для подстанции 110/35/6 кВ «Пионер» по схеме 110 кВ Амурской энергосистемы является узловая подстанция 220/110/35 кВ «Светлая». Подстанция «Пионер» подключена отпайками проводом марки АС-150 протяженностью 69,1 км к двухцепной ВЛ-110 кВ «Светлая – Мехзавод» выполненной проводом марки АС-185 протяженностью 3,5 км. По типу присоединения подстанция 110/35/6 кВ «Пионер» является транзитной. Через РУ-110 кВ подстанции «Пионер» осуществляется транзит электроэнергии на подстанцию 110/35/10 кВ «Покровка».

Упрощенная однолинейная схема ПС Пионер представлена на рисунке 1.

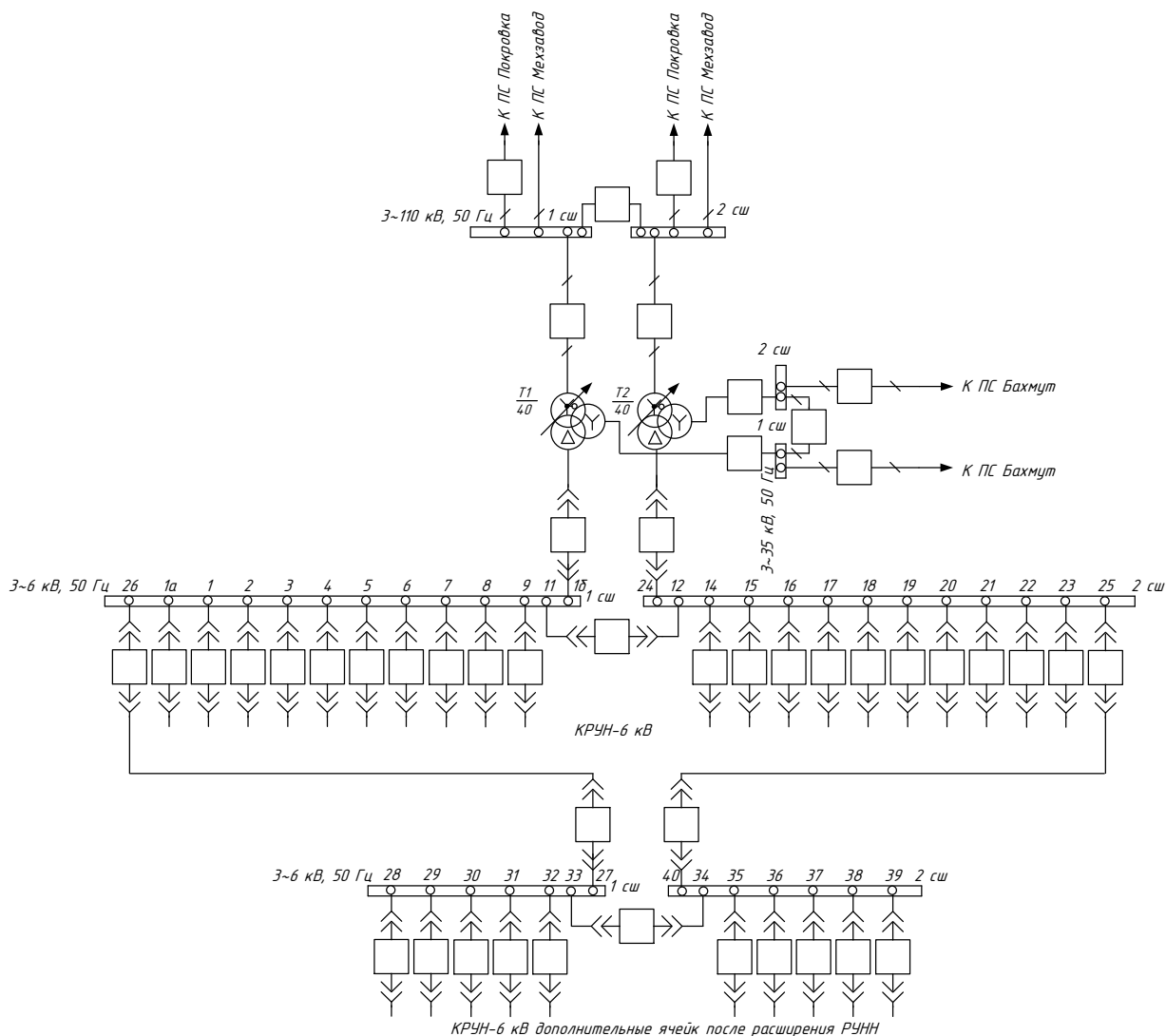


Рисунок 1 - Упрощенная однолинейная схема ПС Пионер

Магистраль 110 кВ до подстанции «Покровка» выполнена двухцепной ВЛ-110 кВ проводом АС-150 протяженностью 35,49 км. Таким образом пропускная способность магистрали 110 кВ «Светлая – Мехзавод – Пионер – Покровка» ограничена сечением провода на головном участке АС-185.

РУ 110 кВ подстанции «Пионер» выполнено по схеме «одна секционированная система шин», 5 выключателей 110 кВ LTB145D1/B с приводом BLK222. Силовые трансформаторы марки ТДТН-40000/110/35,8/6,6 У1. РУ 35 кВ подстанции «Пионер» выполнено по схеме «одна секционированная система шин», 5 выключателей 35 кВ ВР-35НТ-1600 с приводом ППрК-2400С. РУ 6 кВ подстанции «Пионер» выполнено по схеме «одна секционированная выключателем система шин», применены ячейки КРУН-6 кВ в количестве 26 шт. После реконструкции и расширения в 2012 году РУ-6 кВ подстанции «Пионер» были дополнительно установлены 14 ячеек КРУН-6 кВ, установлены выключатели 10 кВ ВВ/Тел-10-20-1000(1600)/У1.

1.3 Характеристика внутриплощадочных сетей

Электроснабжение потребителей внутренних сетей осуществляется на напряжении 6 кВ. Уровень данного напряжения выбран по критерию наличия потребителей 6 кВ – синхронные двигатели приводов мельниц, дробилок, экскаваторов и прочего оборудования. Низковольтные сети напряжением 0,4 кВ подключены к сети 6 кВ посредством стационарных и передвижных трансформаторных подстанций (ТП) 6/0,4 кВ мощностью 100-1000 кВА. Стационарные КТП устанавливаются в местах сосредоточения потребителей 0,4 кВ в центре электрических нагрузок (блок измельчения, дробления, временный поселок). Стационарные КТП устанавливаются над уровнем земли на специальной фундаментной площадке. Фундаментная площадка расположена на 1м выше уровня земли. Передвижные КТП (ПКТП) используются в местах разработки карьеров для электроснабжения вспомогательного оборудования карьера – освещение выработочного участка, насосы откачки грунтовых вод, обогрев внутренних помещений для рабочего персонала в зимнее время на участках выработки. Передвижные КТП (ПКТП) снабжены металлическими полозьями для их пере-

мещения на новые участки выработки тягачами или специальными механизмами.

Распределительные сети 6 кВ ГГМК «Пионер» от РП-6 кВ до потребителей выполняются по магистральной нерезервированной схеме воздушными линиями с применением провода СИП-3, что позволяет добиться высоких эксплуатационных показателей такого решения, так как при падении опор воздушной линии 6 кВ может сохраняться её работоспособность до устранения повреждения опоры (опасная работа механизмов и машин вблизи трассы воздушной линии, падение веток или других предметов, вызывающих сваливание линии электропередачи).

Особенностью системы внутреннего электроснабжения 6 кВ ГГМК «Пионер» является развитие питающих сетей 6 кВ от подстанции «Пионер» от РП-6 кВ в количестве 4 шт. Такое решение позволяет обеспечить развития распределительных сетей 6 кВ для подключения новых потребителей электроэнергии карьера, не используя свободные ячейки на РУ-6 кВ подстанции «Пионер». В то же время наличие питающих сетей приводит к увеличению потерь электроэнергии в них, по сравнению с применением только распределительных сетей 6 кВ. В условиях промышленного производства питающие сети 6 кВ оправданы к использованию в связи с глубоким резервированием секций шин 6 кВ от близкорасположенных РП-6 кВ.

Питающие сети 6 кВ от подстанции «Пионер» от РП-6 кВ выполнены по резервированной радиальной схеме с использованием воздушных линий электропередачи, выполненных проводом СИП-3 и кабельных линий электропередачи, выполненных кабелем ААШв. Схема внутриплощадочных сетей ГГМК «Пионер» 6 кВ представлена на рисунке 2.

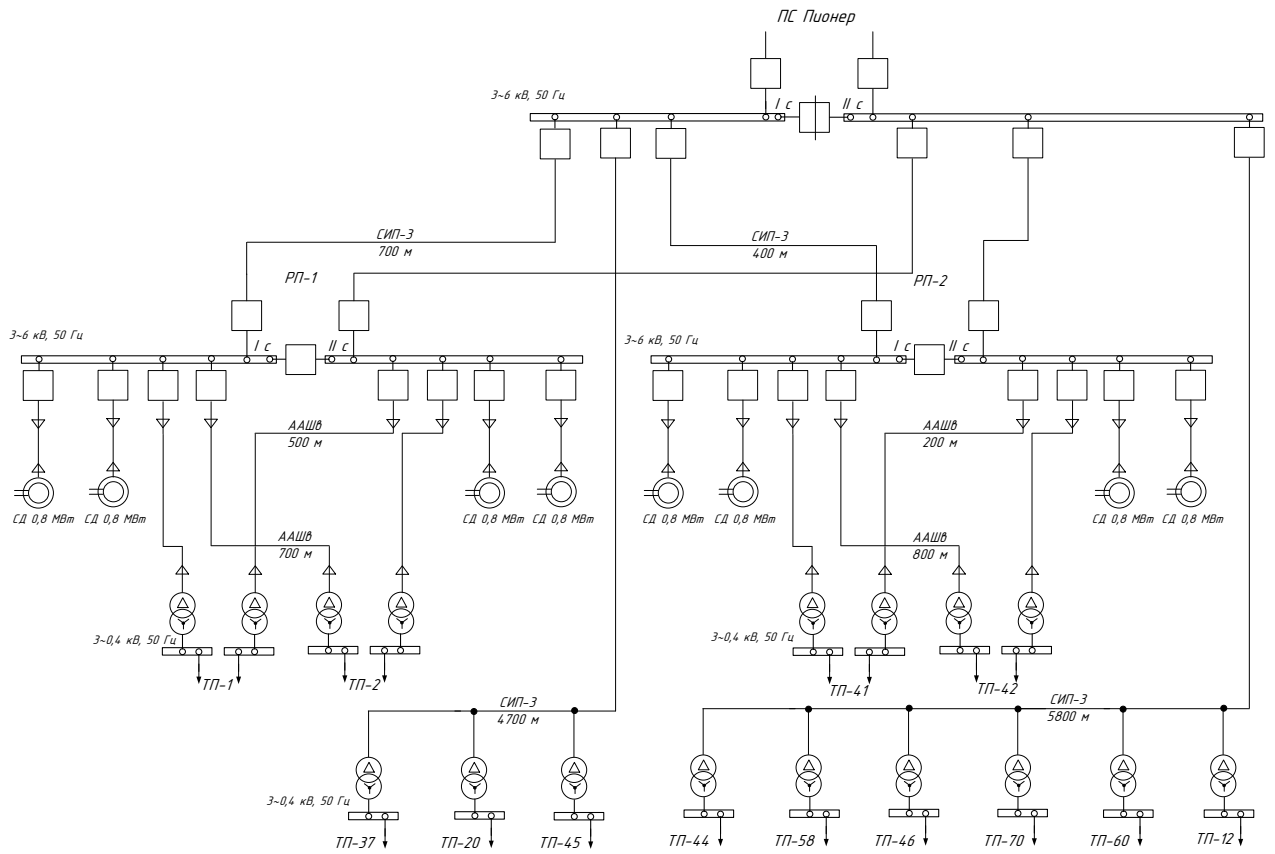


Рисунок 2 - Внутриплощадочные сети ГТМК «Пионер» 6 кВ

2 НИЗКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ БЛОКА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

2.1 Низковольтная нагрузка 0,4 кВ

Перед началом расчётов нагрузок электроприемников блока измельчения проводится анализ режима работы оборудования блока измельчения. В ходе анализа определен состав электроприемников блока измельчения: кран мостовой, тельфер, насос, компрессорная установка, обмотка возбуждения мельницы, вспомогательный привод мельницы, привод конвеера, лебедка, дренажный насос, маслонасос, привод спирали, пульт управления мельницы, пульт сигнализации и защиты мельницы, вспомогательный привод с ЭМТ, маслостанция, маслоподогрев, конвеер ленточный, вентиляторы. Продолжительность включения (ПВ) для всего состава оборудования составляет 100%, таким образом номинальная мощность всех электроприемников определяется по выражению:

$$P_{ном} = P_{наст} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (1)$$

где $ПВ$ – продолжительность включения в соответствии с паспортными данными оборудования.

При $ПВ=100\%$:

$$P_{ном} = P_{наст} \cdot \sqrt{1} = P_{наст}.$$

Дальнейший расчёт предполагает разделение всех потребителей блока измельчения на характерные категории согласно величине коэффициента использования. Такое разделение позволяет учесть нагрузку с различной частотой использования при выборе мощности силовых трансформаторов питающей ТП.

Приводится показательный расчёт для первой группы электроприемников, куда входят мостовые краны и тельфер.

Суммарная активная мощность находится алгебраическим суммированием номинальных мощностей по формуле:

$$P_{НОМ} = \sum_{i=1}^n P_{НОМ,i}, \quad (2)$$

$$P_{НОМ} = 15 \cdot 2 + 10 = 40 \text{ кВт},$$

где n – число электроприёмников.

Суммарная реактивная мощность находится по формуле:

$$Q_{НОМ} = \sum_{i=1}^n q_{НОМ,i} = \sum_{i=1}^n P_{НОМ,i} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3)$$

$$Q_{НОМ} = 30 \cdot 0,88 + 10 \cdot 0,88 = 35,3 \text{ кВАр}.$$

Средние активные и реактивные мощности мостовых кранов и тельфера находятся по формулам:

$$P_C = P_{НОМ} \cdot k_H, \quad (4)$$

$$P_{Скран} = 15 \cdot 0,4 = 6 \text{ кВт},$$

$$P_{Стельфер} = 10 \cdot 0,4 = 4 \text{ кВт},$$

$$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

$$Q_{Скран} = 6 \cdot 0,88 = 5,3 \text{ кВАр},$$

$$Q_{Стельфер} = 4 \cdot 0,88 = 3,5 \text{ кВАр},$$

где $k_{И}$ - коэффициент использования, взятый из справочных данных [10];

$tg\varphi$ - коэффициент реактивной мощности, паспортная величина.

Суммарные значения средней активной и реактивной мощности мостовых кранов и тельфера находятся по формулам:

$$\Sigma P_C = \sum_1^m P_{НОМ} \cdot k_{И},$$

$$\Sigma P_C = 6 \cdot 2 + 4 = 16 \text{ кВт},$$

$$\Sigma Q_C = \sum_1^m P_C \cdot tg\varphi, \quad (6)$$

$$\Sigma Q_C = 2 \cdot 5,3 + 3,5 = 14,1 \text{ кВАр},$$

Коэффициент использования мостовых кранов и тельфера находится по формуле:

$$K_{И} = \Sigma P_C / \Sigma P_{НОМ}, \quad (7)$$

$$K_{И} = 16 / 40 = 0,4.$$

Эффективное число электроприемников находится по формуле:

$$n_{Э} = 2 \cdot \Sigma P_{НОМ} / P_{НОМ.МАХ}, \quad (8)$$

$$n_{Э} = 2 \cdot 40 / 15 = 5.$$

При расчёте возможны результаты, по которым эффективное число электроприемников больше реального числа электроприемников категории, в таком случае $n_{\text{э}} = n_{\text{ф}} = 3$.

Семейство кривых, представленных в [4] используется для нахождения коэффициента расчетной нагрузки K_p , который в свою очередь зависит от средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприемников. Для мостовых кранов и тельфера $K_p = 1,4$.

Расчетная активная мощность мостовых кранов и тельфера находится по формуле:

$$P_p = K_p \cdot \Sigma P_C, \quad (9)$$

$$P_p = 1,4 \cdot 16 = 22,4 \text{ кВт},$$

Расчетная реактивная мощность мостовых кранов и тельфера находится по формуле:

$$\text{При } n_{\text{э}} \leq 10 \text{ и } K_u \geq 0,2 \quad Q_p = 1,1 \cdot Q_C \cdot Q_p = 1,1 \cdot 14,1 = 15,5 \text{ кВар}, \quad (10)$$

$$\text{При } n_{\text{э}} < 100 \text{ и } K_u < 0,2, \quad Q_p = Q_C. \quad (11)$$

В таблице 2 указываются исходные данные для расчётов по методу коэффициента расчетной нагрузки по двум выделенным категориям – краны и тельфер ($K_{\text{и}}=0,4$) и остальное оборудование ($K_{\text{и}}=0,57-0,7$).

Таблица 2 – Исходные данные по потребителям блока измельчения

наименование ЭП	N, шт	P _{макс} , кВт	P _{номΣ} , кВт	K _и	tg(φ)
1	2	3	4	5	6
Характерная категория №1					
кран мостовой	2	15,0	30,0	0,4	0,88
тельфер	1	10,0	10,0	0,4	0,88
Характерная категория №2					

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
насос	2	185,0	370	0,70	0,75
компрессорная установка	1	7,0	7	0,57	0,75
обмотка возбуждения мельницы	1	60,0	60	0,57	0,75
вспом привод мельницы	1	22,0	22	0,70	0,75
привод конвеера	1	11,0	11	0,57	0,75
лебедка	1	22,0	22	0,57	0,75
дренажный насос	8	15,0	120	0,70	0,75
маслонасос	2	80,0	160	0,70	0,75
привод спирали	1	36,0	36	0,57	0,75
пульт управления мельницы	2	81,0	162	0,57	0,75
насос	4	110,0	440	0,70	0,75
пульт сигнализации и защиты мельницы	2	46,0	92	0,57	0,75
вспом привод с ЭМТ	2	16,0	32	0,57	0,75
маслостанция	2	10,5	21	0,70	0,75
маслоподогрев	2	29,0	58	0,70	0,33
конвеер ленточный	1	75,0	75	0,70	0,75
вентиляторы	4	22,0	88	0,65	1,02

Полная расчётная мощность мостовых кранов и тельфера находится по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (12)$$

$$S_p = \sqrt{22,4^2 + 15,5^2} = 27,3 \text{ кВА.}$$

Расчётный ток мостовых кранов и тельфера находится по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (13)$$

$$I_p = \frac{27,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 39 \text{ А.}$$

Для характерной категории остальных электроприемников блока измельчения расчёт ведётся аналогично.

Осветительная нагрузка блока измельчения включает в себя рабочее освещение (светодиодные светильники 220 В 80 Вт), аварийное эвакуационное освещение (светодиодные светильники 220 В 150 Вт), наружное освещение (светильники с лампами ДНаТ 220 В 200 Вт). Типы светильников выбраны в соответствии с назначением помещений и характеристики среды в них. Сеть электроосвещения выполнена кабелем ВВГнг прокладываемым открыто.

Осветительная нагрузка находится по формуле:

$$P_{осв} = P_{св,уд} \cdot n_{св} , \quad (14)$$

$$P_{осв} = 0,08 \cdot 160 + 0,15 \cdot 40 + 0,2 \cdot 20 = 22,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg} \varphi_{осв} , \quad (15)$$

$$Q_{осв} = 22,8 \cdot 0,6 = 13,7 \text{ кВАр}.$$

где $P_{св,уд}$ - мощность светильника, для рабочего освещения 80 Вт, для аварийного освещения 150 Вт, для наружного освещения 200 Вт;

$n_{св}$ - количество светильников, шт.

Полученную нагрузку освещения следует учесть при определении полной расчётной нагрузки 0,4 кВ блока измельчения:

$$P_P = P_{P,C} + P_{P,O} , \quad (16)$$

$$Q_P = Q_{P,C} + Q_{P,O} . \quad (17)$$

Дальнейшие расчёты выполнены в программе Excel-2017 методом коэффициента расчётной нагрузки, результаты показаны в таблице 3. Оборудование блока измельчения подключается согласно рисунку 3.

Таблица 3 – Расчётные нагрузки блока измельчения 0,4 кВ

Исходные данные						Средняя мощность группы ЭП	Эффективное число ЭП	Кр	Расчётные мощности			
по заданию				справочные данные								
наименование ЭП	N, шт	P _{макс} , кВт	P _{номΣ} , кВт	K _и	tg(φ)	P _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВар	пэ		P _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Характерная категория №1												
кран мостовой	2	15,0	30,0	0,4	0,88	12,0	10,6					
тельфер	1	10,0	10,0	0,4	0,88	4,0	3,5					
итого по категории	3	15,0	40	0,4	0,88	16,0	14,1	5	1,4	22,4	15,5	27,3
Характерная категория №2												
насос	2	185,0	370	0,70	0,75	259,0	194,3					
компрессорная установка	1	7,0	7	0,57	0,75	4,0	3,0					
обмотка возбуждения мельницы	1	60,0	60	0,57	0,75	34,2	25,7					
вспом привод мельницы	1	22,0	22	0,70	0,75	15,4	11,6					
привод конвеера	1	11,0	11	0,57	0,75	6,3	4,7					
лебедка	1	22,0	22	0,57	0,75	12,5	9,4					
дренажный насос	8	15,0	120	0,70	0,75	84,0	63,0					
маслонасос	2	80,0	160	0,70	0,75	112,0	84,0					
привод спирали	1	36,0	36	0,57	0,75	20,5	15,4					
пульт управления мельницы	2	81,0	162	0,57	0,75	92,3	69,3					
насос	4	110,0	440	0,70	0,75	308,0	231,0					
пульт сигнализации и защиты мельницы	2	46,0	92	0,57	0,75	52,4	39,3					
вспом привод с ЭМТ	2	16,0	32	0,57	0,75	18,2	13,7					
маслостанция	2	10,5	21	0,70	0,75	14,7	11,0					
маслоподогрев	2	29,0	58	0,70	0,33	40,6	13,3					
конвеер ленточный	1	75,0	75	0,70	0,75	52,5	39,4					
вентиляторы	4	22,0	88	0,65	1,02	57,2	58,4					
итого по категории	37	185,0	1776	0,67	0,74	1183,9	886,3	19	1	1183,9	886,3	1478,9

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
итого по цеху	40	185,0	1816	0,65	0,81	1199,9	900,4	20	1	1199,9	900,4	1500,2
освещение			22,8	1	0,60	22,8	13,7			22,8	13,7	26,6
итого нагрузка в целом	40	185,0	1816,0	0,65	0,81	1222,7	914,1	20	1	1229,1	915,5	1532,6
ШРС-1												
лебедка	1	22,0	22	0,57	0,75	12,5	9,4					
дренажный насос	2	15,0	30	0,70	0,75	21,0	15,8					
вспом привод мельницы	1	22,0	22	0,70	0,75	15,4	11,6					
привод конвеера	1	11,0	11	0,57	0,75	6,3	4,7					
вентиляторы	2	22,0	44	0,65	1,02	28,6	29,2					
итого по категории	7	22,0	129	0,65	0,80	83,8	70,6	12	1	83,8	77,6	114,2
ШРС-2												
обмотка возбуждения мельницы	1	60,0	60	0,57	0,75	34,2	25,7					
компрессорная установка	1	7,0	7	0,70	0,75	4,9	3,7					
привод спирали	1	36,0	36	0,57	0,75	20,5	15,4					
пульт управления мельницы	1	81,0	81	0,57	0,75	46,2	34,6					
маслостанция	1	10,5	10,5	0,70	0,75	7,4	5,5					
итого по категории	5	81,0	195	0,58	0,75	113,1	84,9	5	1	113,1	93,3	146,7
ШРС-3												
пульт сигнализации и защиты мельницы	2	46,0	92	0,57	0,75	52,4	39,3					
пульт управления мельницы	1	81,0	81	0,57	0,75	46,2	34,6					
маслостанция	1	10,5	10,5	0,70	0,75	7,4	5,5					
дренажный насос	2	15,0	30	0,70	0,33	21,0	6,9					
вспом привод с ЭМТ	1	16,0	16	0,70	0,75	11,2	8,4					
итого по категории	7	81,0	230	0,60	0,67	138,2	94,8	6	1	138,2	104,2	173,1
ШРС-4												
вентиляторы	2	22,0	44	0,7	1,0	28,6	29,2					
маслоподогрев	2	29,0	58	0,7	0,7	38,7	28,7					

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
дренажный насос	4	15,0	60	0,7	0,8	39,2	31,9					
вспом привод с ЭМТ	1	16,0	16	1,0	0,6	16,0	9,6					
итого по категории	9	29,0	178	0,69	0,79	122,5	99,3	12	1	122,5	109,2	164,1

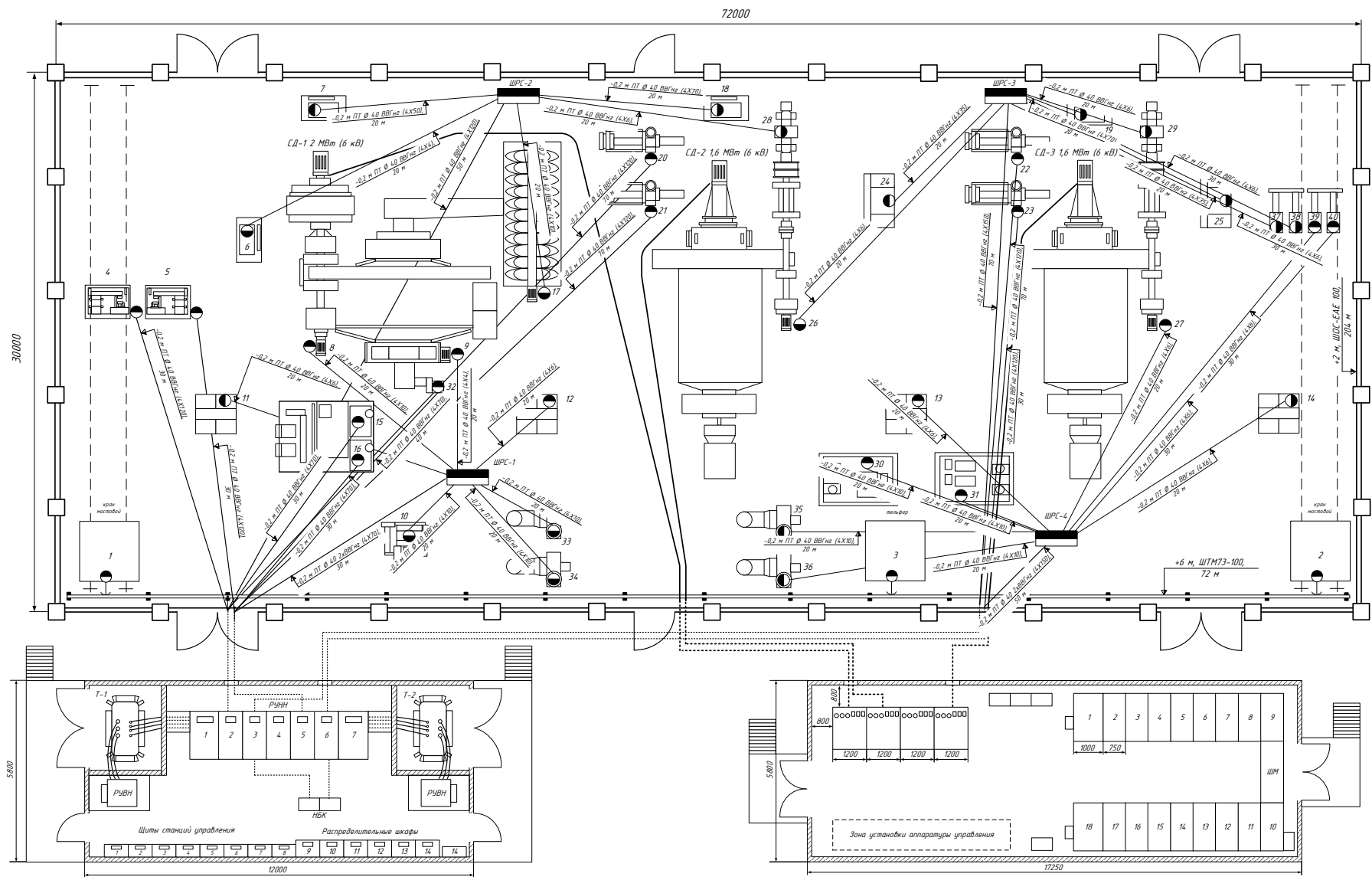


Рисунок 3 – Подключение оборудования блока измельчения 0,4 – 6 кВ

2.2 Выбор схемы электроснабжения цеха напряжением 0,4 кВ

Экономичность и соблюдение категорийности надёжности электроснабжения являются основными моментами при выборе схем внутреннего электроснабжения блока измельчения. Наиболее экономичный вариант выполнения внутренних сетей 0,4 кВ блока измельчения по радиальной схеме кабелями, питающими силовые шкафы. Данный вариант более экономичен и прост в обслуживании по сравнению с вариантами использующими шинопроводы. В блоке измельчения имеются потребители 2 категории по надёжности [10], что требует двух независимых источников питания. Особенностью технологического процесса блока измельчения является некоторое количество различных веществ взвешенных в воздухе рабочей зоны в виде пыли. Непрерывное удаление воздуха осуществляется вентиляторами 33, 34, 35, 36, рисунок 4. Вентиляторы отнесены ко 2 категории по надёжности, пара вентиляторов 33-34 подключена кабелями к ШРС-1, пара вентиляторов 35-36 подключена к ШРС-4, при этом ШРС-1 и ШРС-4 подключены двумя кабелями по радиальной резервированной схеме к шинам 0,4 кВ КТП, что обеспечивает 2 категорию по надёжности электроснабжения.



Рисунок 4 – Расположение вентиляторов 33-36 в блоке измельчения

Кроме вентиляторов 33, 34, 35, 36 остальное оборудование блока измельчения отнесено к 3 категории по надёжности электроснабжения. Отсюда следует что радиальными нерезервированными кабельными линиями подключены остальные электроприёмники блока измельчения к ШРС-2 и ШРС-3. Оборудование, мощность которых превышает 75 кВт подключены радиальными нерезервированными кабельными линиями к шинам КТП 0,4 кВ через щиты управ-

ления (на однолинейной схеме не указаны) – насосы 4, 5, 20, 21, 22, 23, маслонасосы 15, 16, конвейер ленточный 32.

2.3 Картограмма нагрузок блока измельчения

Картограмму нагрузок выполняют в соответствии с планом блока измельчения, на котором указываются окружности диаметром, пропорциональном мощности оборудования. Оборудование блока измельчения разделяем по номинальному напряжению на 0,4 кВ и 6 кВ.

Для нахождения диаметров окружностей используется следующая формула на примере насоса 4-5, [1]:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (18)$$

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{370}{3.14 \cdot 0,5}} = 31 \text{ мм}$$

где m – масштаб для построения окружностей, принимаем 0,5 кВт/см;

P_{pi} – активная мощность группы станков, для которой строится окружность, кВт.

Для нахождения условного центра электрических нагрузок используется следующая формула, [1]:

$$X_0 = \frac{\sum P_i \cdot X_i}{\sum P_i}; \quad (19)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_i \cdot Y_i}{\sum P_i}. \quad (20)$$

Результаты расчётов диаметров окружностей приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчётов картограммы электрических нагрузок

Группа	№ на плане	N, шт	P, кВт	D _{окр} , мм	X	Y	P*X	P*Y
кран мостовой	1,2	1	15	6	0,5	0,5	7,5	7,5
насос	4,5,	2	370	31	1,2	2,8	444	1036
компрессорная установка	6	1	7	4	1,9	3,5	13,3	24,5
обмотка возбуждения мельницы	7	1	60	12	2,1	4,7	126	282
вспом привод мельницы	8	1	22	7	2,3	2,4	50,6	52,8
привод конвеера	9-	1	11	5	3,8	2,3	41,8	25,3
лебедка	10-	1	22	7	3,2	0,8	70,4	17,6
дренажный насос	11-14,37-40	4	60	12	6	2	360	120
		4	60	12	11,5	3,5	690	210
маслонасос	15,16,	2	160	20	2,9	1,6	464	256
привод спирали	17	1	36	10	4,5	2,8	162	100,8
пульт управления мельницы	18,19	2	162	20	7,8	4,8	1263,6	777,6
насос	20-23	4	440	33	7,5	4	3300	1760
пульт сигнализации и защиты мельницы	24,25	1	46	11	8,8	3,5	404,8	161
вспом привод с ЭМТ	26,27	2	32	9	8,1	2,6	259,2	83,2
маслостанция	28,29	2	21	7	8,2	4,5	172,2	94,5
маслоподогрев	30,31	2	58	12	8	1,2	464	69,6
конвеер ленточный	32	1	75	14	3,5	2	262,5	150
вентиляторы	33-36	4	88	15	5,7	0,5	501,6	44
тельфер	3	1	10	5	7,8	0,3	78	3
							Хцэн	5,2
							Yцэн	3,0

Установка КТП внутри блока измельчения без специального места по КТП не целесообразна, так как по условиям технологии переработки рудосодержащей породы предусмотрено отдельное здание КТП в 20 м от здания блока измельчения, рисунок 5.

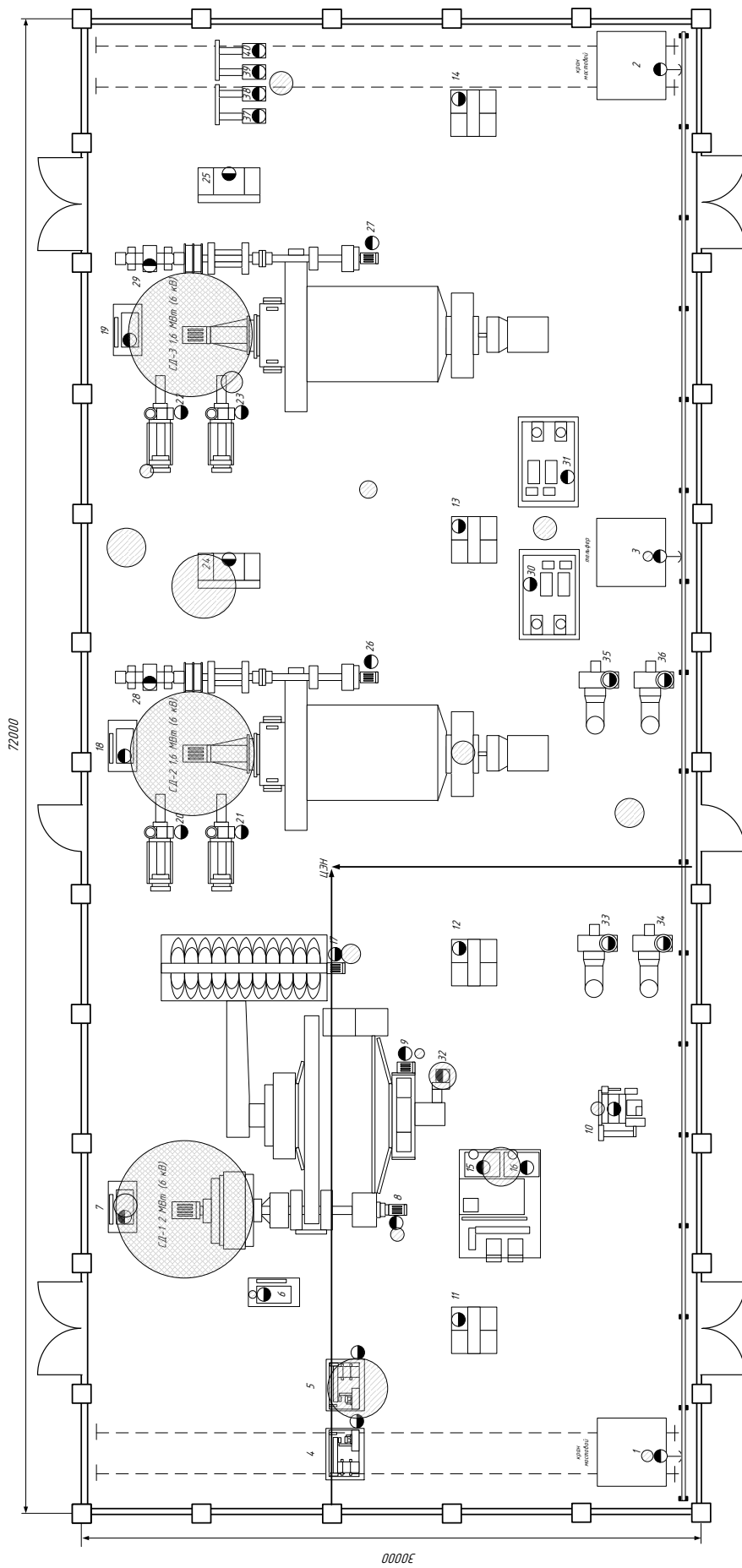


Рисунок 5 – Центр электрических нагрузок блока измельчения

2.4 Выбор и проверка кабелей 0,4 кВ

Критерий выбора кабелей 0,4 кВ - допустимый по нагреву ток, протекающий по проводнику. При подключении проводника к системе электроснабжения по нему в нормальном режиме будет протекать ток, величина которого не позволит нагреться проводнику свыше длительно допустимой температуры, которую способен выдержать проводник, не подвергшись расплавлению или возгоранию.

Проводится выбор кабеля для питания компрессорной установки 6, номинальный ток определяется по формуле, А:

$$I_{ном} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (21)$$

$$I_{ном} = \frac{7}{1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 14,$$

где U_n - номинальное напряжение кабелей, для блока измельчения применяется напряжение 0,4 кВ;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности, для большинства оборудования используются асинхронные двигатели 0,4 кВ в качестве привода, поэтому чаще используется величина 0,8;

η – КПД асинхронного электродвигателя, равен 0,9.

В качестве проводника принят кабель с медными жилами марки ВВГнг 4х4 (кабель силовой с ПВХ изоляцией, не распространяющий горения) с длительно допустимым током 25А с учётом условий открытой прокладки кабелей и температуры воздуха:

$$I_p \leq I_{норм.доп} \cdot K_{прокл},$$

$$14 \text{ А} \leq 25 \cdot 1,3 = 32,5 \text{ А}.$$

Для оборудования блока измельчения результаты выбора кабелей представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Выбор кабелей 0,4 кВ оборудования блока измельчения

Группа	$P_{\text{ном}}$, кВт	$\cos(\varphi)$	I_p , А	$I_{\text{норм доп}}$, А	марка кабеля
кран мостовой	1,2	15,0	0,75	32	ВВГнг
насос	4,5,	185	0,80	371	ВВГнг
компрессорная установка	6	7,0	0,80	14	ВВГнг
обмотка возбуждения мельницы	7	60,0	0,80	120	ВВГнг
вспом привод мельницы	8	22,0	0,80	44	ВВГнг
привод конвейера	9-	11,0	0,80	22	ВВГнг
лебедка	10-	22,0	0,80	44	ВВГнг
дренажный насос	11-14,37-40	15,0	0,80	30	ВВГнг
маслонасос	15,16,	80,0	0,80	161	ВВГнг
привод спирали	17	36,0	0,80	72	ВВГнг
пульт управления мельницы	18,19	81,0	0,80	163	ВВГнг
насос	20-23	110,0	0,80	221	ВВГнг
пульт сигнализации и защиты мельницы	24,25	46,0	0,80	92	ВВГнг
вспом привод с ЭМТ	26,27	16,0	0,80	32	ВВГнг
маслостанция	28,29	10,5	0,80	21	ВВГнг
маслоподогрев	30,31	29,0	0,95	49	ВВГнг
конвейер ленточный	32	75,0	0,80	151	ВВГнг
вентиляторы	33-36	22,0	0,70	50	ВВГнг
тельфер	3	10,0	0,75	21	ВВГнг

Для подключения силовых шкафов также используются кабели ВВГнг, по расчётной нагрузке ШРС-1 проводится выбор кабеля питания по следующим формулам:

$$I_p = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (22)$$

$$I_p = \frac{\sqrt{83,8^2 + 77,6^2}}{1,73 \cdot 0,4} = 165,$$

$$I_p \leq I_{\text{норм. доп}} \cdot K_{\text{прокл}},$$

$$165 \text{ A} \leq 129 \cdot 1,3 = 168 \text{ A} .$$

В соответствии с нагрузкой выбирается кабель ВВГнг 4х70. Аналогичным образом проведен выбор кабелей питания ШРС-2, ШРС-3, ШРС-4, результаты выбора показаны в таблице 6.

Таблица 6 – Результат выбора кабелей питания ШРС

Элемент сети	Р _р , кВт	Q _р , кВар	Кабель	S _р , кВА	I _р , А	I _{доп} , А
ШРС 1	84	78	4х70	114	165	168
ШРС 2	113	93	4х120	147	212	239
ШРС 3	138	104	4х150	173	250	281
ШРС 4	123	109	4х150	164	237	281
ШТМ	22	16	4х10	27	39	51
ШОС	23	14	4х10	27	38	51

2.5 Проверка проводников напряжением 0,4 кВ блока измельчения

В случае использования протяженных проводников для внутренних сетей 0,4 кВ возможны просадки напряжения до величин, когда асинхронные двигатели перейдут в режим выбега и будет отсутствовать возможность их самозапуска. Так как блок измельчения на 95% оснащен приводами оборудования состоящими из асинхронных двигателей, то требуется проверка по допустимой потере напряжения всех выбранных проводников.

Проверка на потерю напряжения выполняется по формуле:

$$\Delta U < \Delta U_{доп} . ,$$

Величина допустимого медленного изменения напряжения (до суток и более) в соответствии с ГОСТ32144-2013 равна 10 %.

Кабель питания ШРС-1 будет иметь следующую величину потери напряжения, %:

$$\Delta U = \frac{(P_p \cdot R_{уд} \cdot L + Q_p \cdot X_{уд} \cdot L) \cdot 100\%}{U_H^2 \cdot 10^{-3}} ; \quad (23)$$

$$\Delta U = \frac{(84 \cdot 0,03 \cdot 0,26 + 78 \cdot 0,03 \cdot 0,1) \cdot 100\%}{0,4^2 \cdot 10^{-3}} = 0,6\% ;$$

$$0,6\% < 10\% .$$

Кабель питания дренажного насоса будет иметь следующую величину потери напряжения с учётом активной составляющей сопротивления проводника, %:

$$\Delta U = \frac{I_p \cdot R_{y0} \cdot L \cdot 100\%}{U_H \cdot 10^{-3}} ;$$

$$\Delta U = \frac{30 \cdot 3,07 \cdot 0,03 \cdot 100\%}{0,4 \cdot 10^{-3}} = 1\% .$$

$$1\% < 10\% .$$

$1\% + 0,6\% = 1,6\% < 10\%$ итоговая величина потери напряжения не превышает допустимую.

Результаты проверки кабелей питания ШРС показаны в таблице 7.

Таблица 7 – Результат проверки кабелей питания ШРС

Элемент сети	P _p , кВт	Q _p , кВар	L, км	Кабель	r _{уд} , Ом/км	x _{уд} , Ом/км	ΔU, %
ШРС 1	84	78	0,03	4x70	0,26	0,1	0,6
ШРС 2	113	93	0,05	4x120	0,153	0,1	0,8
ШРС 3	138	104	0,070	4x150	0,122	0,1	1,2
ШРС 4	123	109	0,050	4x150	0,122	0,1	0,8
ШТМ	22	16	0,096	4x10	0,210	0,21	0,5
ШОС	23	14	0,156	4x10	0,210	0,21	0,7

Результаты проверки кабелей питания электроприемников блока измельчения показаны в таблице 8.

Таблица 8 – Результат проверки кабелей питания электроприемников блока измельчения

Группа	Номер на плане	$P_{\text{ном}}$, кВт	I_p , А	L, м	ΔU , %	$\Delta U_{\text{доп}}$, %
кран мостовой	1,2	15,0	32	20	0,7	10
насос	4,5	185	371	30	0,6	10
компрессорная установка	6	7,0	14	30	0,7	10
обмотка возбуждения мельницы	7	60,0	120	20	0,3	10
вспом привод мельницы	8	22,0	44	20	0,6	10
привод конвеера	9-	11,0	22	20	0,7	10
лебедка	10-	22,0	44	20	0,6	10
дренажный насос	11-14,37-40	15,0	30	30	1,0	10
маслонасос	15,16,	80,0	161	30	0,5	10
привод спирали	17	36,0	72	20	0,4	10
пульт управления мельницы	18,19	81,0	163	20	0,3	10
насос	20-23	110,0	221	70	0,9	10
пульт сигнализации и защиты мельницы	24,25	46,0	92	20	0,3	10
вспом привод с ЭМТ	26,27	16,0	32	20	0,7	10
маслостанция	28,29	10,5	21	20	0,5	10
маслоподогрев	30,31	29,0	49	20	0,8	10
конвеер ленточный	32	75,0	151	40	0,6	10
вентиляторы	33-36	22,0	50	20	0,6	10
тельфер	3	10,0	21	20	0,7	10

В результате расчётов была получена наибольшая величина потери напряжения, которая получается по кабельной линии до дренажного насоса №38 на плане блока измельчения и по кабельной линии от шин 0,4 кВ НН КТП до ШРС-3:

$$1,2+1=2,2\% < 10\% .$$

Требование ГОСТ 32144-2013 выполняется, так как медленное изменение напряжения не превысило значение 10% [6].

2.6 Выбор оборудования напряжением 0,4 кВ блока измельчения

2.6.1 Выбор силовых распределительных щитов

С учётом окружающей среды блока измельчения используем силовые шкафы односторонние марки ИРБИ-813.

Выбор силовых шкафов блока измельчения проводится по длительно допустимому току на примере ШРС-1:

$$I_{расч} \leq I_{ном}$$

$$165A \leq 400A.$$

Для ШРС-1 выбор проведен правильно, результаты расчета для остальных ШРС сведены в таблицу 9.

Таблица 9– Выбор ШРС

Наименование ШРС	$I_{расч}, A$	$I_{ном}, A$	марка
ШРС 1	165	400	ИРБИ-813-400
ШРС 2	212	400	ИРБИ-813-400
ШРС 3	250	400	ИРБИ-813-400
ШРС 4	237	400	ИРБИ-813-400

2.6.2 Выбор автоматических выключателей

Для защиты оборудования, расположенного внутри блока измельчения от перегрузок в случаях, когда оборудование по условиям работы может быть нагружены сверх допустимой нормы нагрузки рекомендуется использовать автоматические выключатели.

Требуется соблюдать условия выбора автоматических выключателей блока измельчения:

$$I_{расч\ ном} \geq I_{расч\ макс}; \quad (24)$$

$$I_{расч\ сраб.} \geq (1.25-1.35) I_n; \quad (25)$$

где $I_{расц\ ном}$ – ток расцепителя, номинальная величина, А;
 $I_{расч\ макс}$ – расчетный ток подключаемой нагрузки в максимальном режиме,
 А;
 I_n – ток пикового режима, А;
 $I_{расц\ сраб}$ – ток электромагнитного расцепителя, при котором происходит его срабатывание.

$$I_{расц\ сраб} = (2-10) \cdot I_{расц\ ном}; \quad (26)$$

$$I_n = I_{расч\ макс} + (k_n - 1) \cdot I_{ном.макс}; \quad (27)$$

где $I_{ном.макс}$ – номинальный ток наиболее мощного электроприемника, А;
 k_n – кратность пускового тока, принимаем 3;
 $I_{расч\ макс}$ – расчетный ток защищаемых электроприемников, А.
 Для защиты кабельной линии, питающей ШРС-1 выбирается автоматический выключатель АЕ2063-250 с током расцепителя 200А:

$$200A \geq 165A, \text{ условие выполняется};$$

$$I_n = 165 + (3-1) \cdot 51 = 266A;$$

$$I_{расц\ сраб} = 200 \cdot 5 = 1000A;$$

$$1000A \geq 1,35 \cdot 266A; 1000A \geq 359A \text{ условие выполняется};$$

Автомат защиты кабельной линии, питающей ГРС-1 выбран и проверен правильно, для остальных силовых шкафов результат выбора сведём в таблицу 10-11.

Таблица 10 – Выбор автоматических выключателей для защиты ШРС и вводов КТП

Наименование ШРС	I_p, A	$I_{ном\ расц}, A$	$I_{ср\ эл}, A$	I_p, A	расч ток	срабатывание расцепителя	марка
ШРС 1	165	200	1000	266	$200 \geq 165$	$1000 \geq 359$	AE2063-250
ШРС 2	212	250	1250	537	$250 \geq 212$	$1250 \geq 725$	AE2063-250
ШРС 3	250	250	1250	575	$250 \geq 250$	$1250 \geq 777$	AE2063-250
ШРС 4	237	250	1250	353	$250 \geq 237$	$1250 \geq 477$	AE2063-250
ШОС	38	63	200	115	$63 \geq 38$	$200 \geq 155$	AE2063-63
ШТМ	39	63	200	118	$63 \geq 39$	$200 \geq 159$	AE2063-63
ввод	1107	1600	4000	1595	$1600 \geq 1107$	$4000 \geq 2153$	AE2063-1600

Таблица 11 – Выбор автоматических выключателей для защиты оборудования блока измельчения

Элемент сети	I_p, A	$I_{н\ расц}, A$	$I_{ср\ расц}, A$	$I_{пик}, A$	Тип АВ	расч ток	срабатывание расцепителя
кран мостовой	32	40	200	96	AE2063-40	$40 \geq 32,1$	$200 \geq 130,1$
насос	371	400	2000	1114	AE2063-400	$400 \geq 371,3$	$2000 \geq 1503,8$
компрессорная установка	14	25	125	42	AE2063-25	$25 \geq 14$	$125 \geq 56,9$
обмотка возбуждения мельницы	120	160	800	361	AE2063-160	$160 \geq 120,4$	$800 \geq 487,7$
вспом привод мельницы	44	63	315	132	AE2063-63	$63 \geq 44,2$	$315 \geq 178,8$
привод конвеера	22	25	125	66	AE2063-25	$25 \geq 22,1$	$125 \geq 89,4$
лебедка	44	63	315	132	AE2063-63	$63 \geq 44,2$	$315 \geq 178,8$
дренажный насос	30	40	200	90	AE2063-40	$40 \geq 30,1$	$200 \geq 121,9$
маслонасос	161	250	1250	482	AE2063-250	$250 \geq 160,6$	$1250 \geq 650,3$
привод спирали	72	100	500	217	AE2063-100	$100 \geq 72,3$	$500 \geq 292,6$
пульт управления мельницы	163	250	1250	488	AE2063-250	$250 \geq 162,6$	$1250 \geq 658,4$
насос	221	250	1250	662	AE2063-250	$250 \geq 220,8$	$1250 \geq 894,1$
пульт сигнализации и защиты мельницы	92	100	500	277	AE2063-100	$100 \geq 92,3$	$500 \geq 373,9$
вспом привод с ЭМТ	32	40	200	96	AE2063-40	$40 \geq 32,1$	$200 \geq 130,1$
маслостанция	21	25	125	63	AE2063-25	$25 \geq 21,1$	$125 \geq 85,4$
маслоподогрев	49	63	315	147	AE2063-63	$63 \geq 49$	$315 \geq 198,5$
конвеер ленточный	151	160	800	452	AE2063-160	$160 \geq 150,5$	$800 \geq 609,6$
вентиляторы	50	63	315	151	AE2063-63	$63 \geq 50,5$	$315 \geq 204,4$
тельфер	21	25	125	64	AE2063-25	$25 \geq 21,4$	$125 \geq 86,7$

По результатам расчётов делается вывод о том, что автоматические выключатели проходят по условиям выбора в полном объёме.

2.6.3 Выбор трансформаторов тока

В РУ-0,4 кВ КТП блока измельчения предусматриваем установку трансформаторов тока на вводах питания ШРС. Используются трансформаторы тока ТТ-0,66 с классом точности 0,5.

Выбор трансформаторов тока осуществляется по условиям для ШРС-1:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (28)$$

$$0,4 \text{ кВ} \leq 0,6 \text{ кВ};$$

$$I_p \leq I_{ном} . \quad (29)$$

$$165 \text{ А} \leq 250 \text{ А},$$

$$Z_{втор \text{ факт}} \leq Z_{втор \text{ ном}} , \quad (30)$$

$$Z_{втор \text{ ном}} = \frac{S_{2H}}{I_2^2} , \quad (31)$$

$$Z_{втор \text{ ном}} = \frac{10}{5^2} = 0.4 \text{ Ом},$$

где $Z_{втор \text{ факт}}$ – вторичная фактическая нагрузка цепей 5А трансформатора тока, Ом;

$Z_{втор \text{ ном}}$ – вторичная номинальная нагрузка цепей 5А трансформатора тока, Ом;

S_{2H} - номинальная вторичная нагрузка для класса точности 0,5, 10 ВА.

Активную вторичную нагрузку можно приравнять к полной вторичной нагрузке, так как индуктивное сопротивление проводов вторичных цепей много меньше активного, поэтому:

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{конт}} , \quad (32)$$

где $r_{\text{приб}}$ - сопротивление приборов, Ом;

$r_{\text{пр}}$ - сопротивление соединительных проводов, Ом;

$r_{\text{к}}$ - переходное сопротивление контактов, обобщенной 0,1 Ом.

Согласно однолинейной схеме на отходящие присоединения и ввода шин КТП 0,4 кВ к трансформаторам тока предусмотрено подключение амперметра Э-365 нагрузкой 0,5 ВА на фазу В и счетчика электроэнергии СЭТ4ТМ нагрузкой 1 ВА на фазы А-В-С, в таком случае наиболее загруженная фаза – В с нагрузкой 1,5 ВА:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (33)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{1,5}{5^2} = 0,06 \text{ Ом.}$$

где $S_{\text{ПРИБ}}$ – мощность, потребляемая амперметром Э-365 и счетчиком электроэнергии СЭТ4ТМ, 1,5 ВА;

I_2 – вторичный номинальный ток прибора, равный 5 А.

Сопротивление провода АКРВГ-1х4 ($\rho=0,0283$) [24] длиной $l=20$ м находится по формуле:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (34)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{4} = 0,14 \text{ Ом,}$$

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}} .$$

$$r_2 = 0.1 + 0.14 + 0.06 = 0.3 \text{ Ом.}$$

$$0,3 \text{ Ом} \leq 0,4 \text{ Ом.}$$

Для остальных ШРС выбор трансформаторов тока показан в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор трансформаторов тока 0,4 кВ

Наим.	I_p, A	$I_{ном}, \text{A}$	расч ток	$U_{уст}, \text{кВ}$	$U_{ном}, \text{кВ}$	расч напр	$Z_p, \text{Ом}$	$Z_{ном}, \text{Ом}$	расч нагрузка
Ввод 1,2 0,4 кВ	1107	1600	$1600 \geq 1107$	1107	1600	$0,4 \geq 0,4$	0,3	0,4	$0,4 \geq 0,3$
ШРС 1	165	250	$250 \geq 165$	165	250	$0,4 \geq 0,4$	0,3	0,4	$0,4 \geq 0,3$
ШРС 2	212	250	$250 \geq 212$	212	250	$0,4 \geq 0,4$	0,3	0,4	$0,4 \geq 0,3$
ШРС 3	250	250	$250 \geq 250$	250	250	$0,4 \geq 0,4$	0,3	0,4	$0,4 \geq 0,3$
ШРС 4	237	250	$250 \geq 237$	237	250	$0,4 \geq 0,4$	0,3	0,4	$0,4 \geq 0,3$

Трансформаторы тока 0,4 кВ отвечают условиям выбора в таблице 10.

2.7 Расчет токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ блока измельчения

Токи короткого замыкания в системе электроснабжения 0,4 кВ блока измельчения рассчитываются с использованием расчётной схема (выше) и схемы замещения (ниже), рисунок 6.

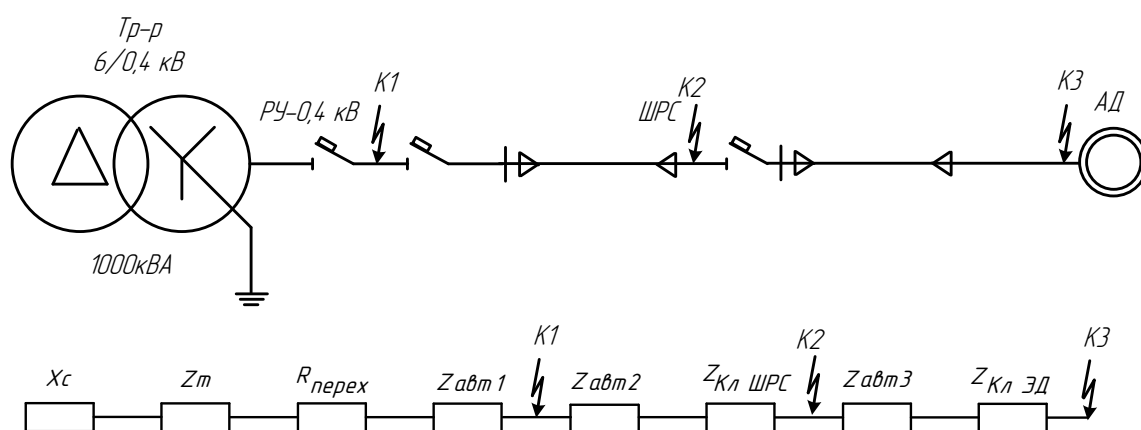


Рисунок 6 – Токи короткого замыкания в системе электроснабжения 0,4 кВ блока измельчения

Для определения уровней токов короткого замыкания устанавливаются показательные точки КЗ до электродвигателей, определив токи в которых, можно проверить соответствующее оборудование на динамическую стойкость и чувствительность, [5]:

- Точки для ШРС-1: ВВГнг 4х70 30 м + ВВГнг 4х6 20 м до двигателя №11;

- Точки для ШРС-2: ВВГнг 4х120 50 м + ВВГнг 4х4 30 м до двигателя №6;

- Точки для ШРС-3: ВВГнг 4х150 70 м + ВВГнг 4х6 30 м до двигателя №38;

- Точки для ШРС-4: ВВГнг 4х150 50 м + ВВГнг 4х6 30 м до двигателя №40;

- Точка для двигателя №20: ВВГнг 4х120 70 м.

Сопротивление системы находится по формуле, мОм:

$$x_{сист} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ}^{(3)}}, \quad (35)$$

$$x_{сист} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 20} = 11,$$

где U_{HH} - среднее напряжение низкой стороны трансформатора, в данном случае равно 380 В;

$I_{КЗ}^{(3)}$ - трехфазный ток короткого замыкания системы, равный отключающей способности выключателя нагрузки ВНАП-10/630-20-У2 - 20 кА.

Для трансформатора ТМГ-1000/10 активное и реактивное сопротивление берётся по справочнику $r_{mp} = 1,9 \text{ мОм}$, $x_{mp} = 8,6 \text{ мОм}$.

Сопротивления линий до ближайшего горизонтального скребкового транспортера; определяются по формуле:

$$r = r_0 \cdot l; \quad (36)$$

$$x = x_0 \cdot l;$$

где r_0 и x_0 - удельные сопротивления кабельных линий, находится по справочнику, мОм/м;

l - длина линии, м.

Для ШРС-1 сопротивления кабелей составляют следующие значения:

$$r_{\text{кл ШРС-1}} = 0,265 \cdot 30 = 8 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{кл ШРС-1}} = 0,1 \cdot 30 = 3 \text{ мОм}.$$

$$r_{\text{кл АД}} = 3,09 \cdot 20 = 61,8 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{кл АД}} = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ мОм}.$$

Для ШРС-1 сопротивления автоматических выключателей составляют следующие значения, мОм:

$$\text{AE2063-1600} - R_{\text{AB вводТП}} = 0,17, X_{\text{AB вводТП}} = 0,08,$$

$$\text{AE2063-250} - R_{\text{AB ШРС}} = 1,5, X_{\text{AB ШРС}} = 0,5,$$

$$\text{AE2063-63} - R_{\text{AB АД}} = 3,5, X_{\text{AB АД}} = 2.$$

Учитывается переходное сопротивление 5 мОм по мере удаления от шин КТП, на шинах КТП переходное сопротивление составляет 15 мОм. Суммарное сопротивление для точки К1 ШРС-1, мОм:

$$R_{\Sigma} = r_{\text{тр}} + R_{\text{AB вводТП}} + r_{\text{перех}};$$

$$R_{\Sigma} = 1,9 + 0,17 + 15 = 17,1;$$

$$x_{\Sigma} = x_{\text{суст}} + x_{\text{мп}} + X_{\text{AB вводТП}} ;$$

$$x_{\Sigma} = 11 + 8,6 + 0,08 = 19,7 .$$

Аналогично определяются суммарные сопротивления до точек КЗ, результаты расчётов показаны в таблице 13.

Таблица 13 – Сопротивления участков сети 0,4 кВ для расчёта токов КЗ

Точка КЗ	К-1 ШРС 1	К-2 ШРС 1	К-3 ШРС 1	К-2 ШРС 2	К-3 ШРС 2	К-2 ШРС 3	К-3 ШРС 3	К-2 ШРС 4	К-3 ШРС 4	К-2 АД20
$X_{\text{сист, МОм}}$	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
$R_{\text{тр, МОм}}$	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
$X_{\text{тр, МОм}}$	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
$R_{\text{AB вводТП, МОм}}$	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
$X_{\text{AB вводТП, МОм}}$	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
$R_{\text{AB ШРС, МОм}}$		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
$X_{\text{AB ШРС, МОм}}$		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
$R_{\text{кл ШРС, МОм}}$		8,0	8,0	7,7	7,7	8,7	8,7	6,2	6,2	
$X_{\text{кл ШРС, МОм}}$		3,0	3,0	5,0	5,0	7,0	7,0	5,0	5,0	
$R_{\text{AB АД, МОм}}$			3,5		3,5		3,5		3,5	1,5
$X_{\text{AB АД, МОм}}$			2,0		2,0		2,0		2,0	0,5
$R_{\text{кл АД, МОм}}$			61,8		138,9		92,7		92,7	10,8
$X_{\text{кл АД, МОм}}$			2,0		3,0		3,0		3,0	7,0
$R_{\text{перех, МОм}}$	15,0	20,0	25,0	20,0	25,0	20,0	25,0	20,0	25,0	20,0
$X_{\Sigma, \text{МОм}}$	19,7	23,2	27,2	25,2	30,2	27,2	32,2	25,2	30,2	27,2
$R_{\Sigma, \text{МОм}}$	17,1	31,5	101,8	31,3	178,7	32,3	133,5	29,8	131,0	34,4
$Z_{\Sigma, \text{МОм}}$	26,1	39,1	105,4	40,1	181,2	42,2	137,3	39,0	134,4	43,8

Находим ток трехфазного короткого замыкания для точки К1 ШРС-1:

$$I_{K1} = \frac{U_{\text{HH}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}};$$

$$I_{K1} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{19,7^2 + 17,1^2}} = 8,9 \text{ кА}.$$

Находим ток однофазного короткого замыкания для точки К1 ШРС-1:

$$I_{K1}^1 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{HH}} \cdot 10^3}{\sqrt{(2 \cdot X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2}},$$

$$I_{K1}^1 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{(3 \cdot 19,7)^2 + (3 \cdot 17,1)^2}} = 6,6 \text{ кА}.$$

Находим постоянную затухания аperiodической составляющей для точки К1 ШРС-1:

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \cdot R_{\Sigma}},$$

$$T_a = \frac{19,7}{314 \cdot 17,1} = 0.004 \text{ с}.$$

Находим ударный коэффициент для точки К1 ШРС-1:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_a}},$$

$$K_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0.01}{0.004}} = 1,07.$$

Находим ударный ток трехфазного КЗ для точки К1 ШРС-1:

$$i_{уд} = K_{y0} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}.$$

$$i_{уд} = 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,9 = 13,3 \text{ кА}.$$

Аналогично определяются токи короткого замыкания для других точек КЗ, результаты расчётов показаны в таблице 14.

Таблица 14 – Токи КЗ в сети 0,4 кВ блока измельчения

Точка КЗ	$I^{(3)}$, кА	$I^{(1)}$, кА	T_a , с	$K_{уд}$	$I_{уд}$, кА
К-1 ШРС 1	8,9	6,6	0,004	1,07	13,3
К-2 ШРС 1	5,9	4,4	0,002	1,01	8,4
К-3 ШРС 1	2,2	1,6	0,001	1,00	3,1
К-2 ШРС 2	5,8	4,3	0,003	1,02	8,3
К-3 ШРС 2	1,3	1,0	0,001	1,00	1,8
К-2 ШРС 3	5,5	4,1	0,003	1,02	7,9
К-3 ШРС 3	1,7	1,3	0,001	1,00	2,4
К-2 ШРС 4	5,9	4,4	0,003	1,02	8,6
К-3 ШРС 4	1,7	1,3	0,001	1,00	2,4
К-2 АД20	5,3	3,9	0,003	1,02	7,6

2.8 Проверка оборудования блока измельчения напряжением 0,4 кВ

Ранее были выбраны силовые распределительные шкафы, автоматические выключатели, трансформаторы тока, далее это оборудование необходимо проверить по стойкости к максимальным уровням токов КЗ.

2.8.1 Проверка распределительных шкафов блока измельчения

Распределительные силовые шкафы (ШРС) требуется проверить по электродинамической стойкости с использованием условия:

$$i_{уд} < i_{уд.дон},$$

где $i_{уд.дон}$ – допустимая электродинамическая стойкость, 10 кА по каталожным данным ШРС [7].

Для ШРС-1:

$$8,4 \text{ кА} < 10 \text{ кА}.$$

Далее проверка выполняется аналогично для всех ШРС, результат показан в таблице 15.

Таблица 15 – Проверка ШРС на электродинамическую стойкость

Наименование	$i_{уд}$, кА	$i_{уддоп}$, кА
ШРС 1	8,4	10
ШРС 2	8,3	10
ШРС 3	7,9	10
ШРС 4	8,6	10

Проверка всех ШРС выполнена, условия проверки соблюдены.

2.8.2 Проверка автоматических выключателей

Требуется выполнить проверку автоматических выключателей по согласованию теплового расцепителя с сечением выбранных элементов сети по условию:

$$I_{ном.расц} \leq 1,5 \cdot I_{длдоп}, \quad (37)$$

где $I_{ном.расц}$ – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{дл.доп}$ – длительно допустимый ток элемента сети, А.

Для ШРС-1:

$$200 \text{ А} \leq 400 \cdot 1,5 \text{ А},$$

$$200 \text{ А} \leq 600 \text{ А}.$$

Проверка по согласованию теплового расцепителя с сечением кабельной линии для ШРС, вводов КТП и двигательных автоматов представлена в таблицах 16-17.

Таблица 16 – Проверка автоматических выключателей защиты ШРС и вводов

Элемент сети	Ином расц,А	Идоп,А	условие проверки
ШРС 1	200	400	$200 \leq 600$
ШРС 2	250	400	$250 \leq 600$
ШРС 3	250	400	$250 \leq 600$
ШРС 4	250	400	$250 \leq 600$
ШОС	63	100	$63 \leq 150$
ШТМ	63	100	$63 \leq 150$
ввод	1600	1600	$1600 \leq 2400$

Таблица 17 – Проверка автоматических выключателей защиты оборудования блока измельчения

наименование	Номер на плане	Ином расц,А	Иддоп, А	условие проверки по согласованию
кран мостовой	1,2	40	37,7	$40 \leq 56,55$
насос	4,5,	400	239,2	$400 \leq 717,6$
компрессорная установка	6	25	32,5	$25 \leq 48,75$
обмотка возбуждения мельницы	7	160	131,3	$160 \leq 196,95$
вспом привод мельницы	8	63	50,7	$63 \leq 76,05$
привод конвеера	9-	25	32,5	$25 \leq 48,75$
лебедка	10-	63	50,7	$63 \leq 76,05$
дренажный насос	11-14,37-40	40	37,7	$40 \leq 56,55$
маслонасос	15,16,	250	167,7	$250 \leq 251,55$
привод спирали	17	100	89,7	$100 \leq 134,55$
пульт управления мельницы	18,19	250	167,7	$250 \leq 251,55$
насос	20-23	250	239,2	$250 \leq 358,8$
пульт сигнализации и защиты мельницы	24,25	100	107,9	$100 \leq 161,85$
вспом привод с ЭМТ	26,27	40	37,7	$40 \leq 56,55$
маслостанция	28,29	25	37,7	$25 \leq 56,55$
маслоподогрев	30,31	63	50,7	$63 \leq 76,05$
конвеер ленточный	32	160	167,7	$160 \leq 251,55$
вентиляторы	33-36	63	50,7	$63 \leq 76,05$
тельфер	3	25	32,5	$25 \leq 48,75$

Проверка выполнена, условия проверки соблюдены.

Проверка по чувствительности к токам КЗ осуществляется по условию:

$$I_{кзmin}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{ср.эл}, \quad (38)$$

где $I_{кзmin}^{(1)}$ – минимальный ток однофазного КЗ, А;

$I_{ср.эл}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя, А.

Выполним проверку для ШРС-1:

$$4400 \text{ А} \geq 1,25 \cdot 1000 \text{ А},$$

$$4400 \text{ А} \geq 1250 \text{ А}.$$

Проверка автоматических выключателей по чувствительности к токам КЗ представлена в таблицах 18-19.

Таблица 18 – Проверка автоматических выключателей ШРС и ввода КТП по чувствительности к токам КЗ

Элемент сети	$I_{кзmin}^{(1)}$, А	$I_{ср.эл}$, А	Проверка по чувствительности к токам КЗ
ШРС 1	4400	1000	$4400 \geq 1250$
ШРС 2	4300	1250	$4300 \geq 1562,5$
ШРС 3	4100	1250	$4100 \geq 1562,5$
ШРС 4	4400	1250	$4400 \geq 1562,5$
ШОС	6600	200	$6600 \geq 250$
ШТМ	6600	200	$6600 \geq 250$
ввод	6600	4000	$6600 \geq 5000$

Таблица 19 – Проверка автоматических выключателей оборудования блока измельчения по чувствительности к токам КЗ

Элемент сети	$I_{кзmin}^{(1)}$, кА	$I_{ср.эл}$, кА	Проверка по чувствительности к токам КЗ
11	1,6	0,2	$1,6 \geq 0,25$
6	1	0,125	$1 \geq 0,15625$
38	1,3	0,2	$1,3 \geq 0,25$
40	1,3	0,2	$1,3 \geq 0,25$
20	0,5	1,25	$3,9 \geq 1,56$

Проверка выполнена, условия проверки соблюдены.

2.8.3 Проверка трансформаторов тока

Проверка ТТ 0,4 кВ блока измельчения проводится по электродинамической и термической стойкости.

Условие электродинамической стойкости имеет вид:

$$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}},$$

$$20 \geq 13,3,$$

где $I_{\text{дин}}$ – ток электродинамической стойкости трансформатора тока 0,4 кВ, справочная величина, 20 кА;

$I_{\text{уд}}$ – ударный ток, расчётная величина.

Условие термической стойкости имеет вид:

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K,$$

$$300 \geq 41,7 \text{ кА}.$$

Термическую стойкость трансформатора тока ввода 0,4 кВ находим по формуле:

$$B_K = I_{\text{н.о.РУ}0,4\text{кВ}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{А1}}); \quad (39)$$

$$B_K = 8,9^2 \cdot (0,02 + 0,01 + 0,5) = 41,7 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $t_{\text{отк}}$ - собственное время отключения выключателя, принимаем $t_{\text{отк}} = 0,02$ с с учетом времени селективности защит 0,5 с.

$I_{\text{н.о.РУ}0,4\text{кВ}}$ - ток трёхфазного КЗ на шинах 0,4 кВ, кА.

$$B_{HK} = I_T^2 \cdot t_T; \quad (40)$$

$$B_{HK} = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ кА}^2\text{с}.$$

где I_T - ток термической стойкости Т-0,66, 10 кА по справочнику;

t_T - время термической стойкости 3с, по справочнику;

Проверка трансформаторов тока по стойкости к токам КЗ представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Проверка трансформаторов тока 0,4 кВ

Наим.	$I_{\text{дин}}$, кА	$I_{\text{уд}}$, кА	Динамическая стойкость	$B_{\text{нк}}$, кА ² с	$B_{\text{к}}$, кА ² с	Термическая стойкость
Ввод 1,2 0,4 кВ	20	13,3	$20 \geq 13,3$	300	41,7	$300 \geq 41,7$
ШРС 1	16	8,4	$16 \geq 8,4$	75	36	$75 \geq 36$
ШРС 2	16	8,3	$16 \geq 8,3$	75	34,2	$75 \geq 34,2$
ШРС 3	16	7,9	$16 \geq 7,9$	75	31	$75 \geq 31$
ШРС 4	16	8,6	$16 \geq 8,6$	75	36,2	$75 \geq 36,2$
АД 20	16	7,6	$16 \geq 7,6$	75	28,7	$75 \geq 28,7$

Проверка выполнена, условия проверки соблюдены.

3 ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БЛОКА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

3.1 Выбор номинального напряжения

Для выбора номинального напряжения следует учесть напряжение низкой стороны силовых трансформаторов на ПС Пионер и рабочее напряжение потребителей электроэнергии. Потребители блока измельчения разделены на низковольтные на напряжении 0,4 кВ и высоковольтные синхронные двигатели напряжением 6 кВ. На ПС Пионер установлены силовые трансформаторы ТДТН-40000/110/35/6 с номинальным напряжением средней стороны 6 кВ. В результате целесообразно использовать для подключения КТП напряжение 6 кВ руководствуясь напряжением центра питания и наличием СД 6 кВ.

3.2 Расчёт нагрузок трансформаторной подстанции

Нагрузка КТП-4 на стороне 0,4 кВ выполнена для блока измельчения в п 2.1 и указана в таблице 3. Для запуска новых линий конвейеров измельчения используется аналогичная нагрузка, таким образом нагрузка КТП-5 и КТП-6 равна нагрузке КТП-4. Состав двигательной нагрузки 6 кВ также аналогичный.

Расчётная нагрузка ТП ГГМК Пионер представлена в таблице 21.

Таблица 21 – Нагрузки ТП ГГМК Пионер на стороне 0,4 кВ

Наименование ТП	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	Кз норм /Кз авар	$S_{тр}$ ТП, кВА	примечание
КТП-4	1229,1	915,5	1532,6	0,77/1,53*	2x1000	В послеаварийном режиме перегрузка на 13%
КТП-5 (перспективная)	1229,1	915,5	1532,6	0,77/1,53*	2x1000	В послеаварийном режиме перегрузка на 13%
КТП-6 (перспективная)	1229,1	915,5	1532,6	0,77/1,53*	2x1000	В послеаварийном режиме перегрузка на 13%

*-требуется отключение 13% нагрузки 3й категории потребителей

3.3 Выбор силовых трансформаторов 6/0,4 кВ блока измельчения

Для подключения потребителей 0,4 кВ блока измельчения требуется установка силовых трансформаторов в КТП, кВА, [7]:

$$S_T = \frac{P_P}{K_3 \cdot N_T}, \quad (41)$$

$$S_T = \frac{1229,1}{2 \cdot 0,7} = 878 \text{ кВА.}$$

Для 2 и 3 категории потребителей блока измельчения на напряжении 0,4 кВ устанавливается 2 силовых трансформатора (N=2) мощностью 1000 кВА типа ТМГ-1000/6/0,4.

3.4 Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции блока измельчения

Для промышленных потребителей используется следующий порядок расчётов.

Определяется реактивная мощность, передаваемая со стороны 6 кВ на низкую сторону 0,4 кВ по следующей формуле:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_T)^2 - P_P^2}, \quad (42)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 915,5^2} = 670 \text{ кВар.}$$

Находится мощность батарей конденсаторов 0,4 кВ:

$$Q_{HK1} = Q_P - Q_T, \quad (43)$$

$$Q_{HK1} = 915,5 - 670 = 245 \text{ кВар,}$$

$$Q_{HK2} = Q_P - Q_{HK1} - \gamma \cdot N_T \cdot S_T, \quad (44)$$

$$Q_{HK2} = 915,5 - 245 - 0,35 \cdot 2 \cdot 1000 = -90 \text{ кВар},$$

где $\gamma = f(K_1, K_2) = 0,35$, K_1 и K_2 определяются по [4].

$$Q_{HK\Sigma} = Q_{HK1} + Q_{HK2}, \quad (45)$$

$$Q_{HK\Sigma} = 245 + 0 = 245 \text{ кВар},$$

Целесообразно использовать 2 батареи конденсаторов по 1 на каждую секцию шин КТП типа АУКРМ – 125 - 0,4 –67У3 номинальной реактивной мощностью 125 кВар.

Результирующая нескомпенсированная реактивная нагрузка КТП:

$$Q_{неск} = Q_P - Q_{HK \Phi}, \quad (46)$$

$$Q_{неск} = 915,5 - 250 = 665,5 \text{ кВар}.$$

3.5 Нагрузка трансформаторной подстанции блока измельчения на стороне 6 кВ

Расчёт нагрузки на стороне 6 кВ ТП блока измельчения выполняется с целью учесть потери в силовом трансформаторе КТП при выборе питающего кабеля 6 кВ.

Формула для расчёта потерь активной мощности для КТП-4 имеет следующий вид:

$$\Delta P_T = 2 \cdot \Delta P_X + (S_p / 2 \cdot S_{ном})^2 \cdot \Delta P_K / 2; \quad (47)$$

$$\Delta P_T = 2,45 \cdot 2 + (1397,7 / 2 \cdot 1000)^2 \cdot 12,2 / 2 = 7,9 \text{ кВт} ,$$

где ΔP_X - потери активной мощности холостого хода, справочная величина [9];

ΔP_K - потери активной мощности короткого замыкания, справочная величина [9].

Формула для расчёта потерь реактивной мощности для КТП-4 имеет следующий вид:

$$\Delta Q_T = 2 \cdot \Delta Q_X + (S_p / 2 \cdot S_{ном})^2 \cdot \Delta Q_K / 2; \quad (48)$$

$$\Delta Q_T = 14 \cdot 2 + (1397,7 / 2 \cdot 1000)^2 \cdot 55 / 2 = 41,4 \text{ кВар},$$

где ΔQ_X - потери реактивной мощности холостого хода:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}; \quad (49)$$

$$\Delta Q_X = 1000 \cdot \frac{1,4}{100} = 14 \text{ кВар},$$

где $S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора;

I_x - ток холостого хода, справочная величина, %;

ΔQ_K - потери реактивной мощности короткого замыкания:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_k}{100}; \quad (50)$$

$$\Delta Q_K = 1000 \cdot \frac{5,5}{100} = 55 \text{ квар},$$

где U_k - напряжение короткого замыкания, %.

Нагрузка на высокой стороне КТП-4:

$$P_{BH\ III} = P_p + \Delta P_T, \quad (51)$$

$$P_{BH\ III} = 1229,1 + 7,9 = 1244,9 \text{ кВт},$$

$$Q_{BH\ III} = Q_p + \Delta Q_{III}, \quad (52)$$

$$Q_{BH\ III} = 665,5 + 41,4 = 748,4 \text{ кВар}.$$

3.6 Выбор вариантов развития внутреннего электроснабжения 6 кВ

В данном пункте проводится выбор питающих кабелей напряжением 6 кВ для питания сооружаемых РП и КТП, в том числе на перспективу до 2025 года.

Вариант №1 развития сетей выполняется по радиальной схеме для питающих и распределительных сетей 6 кВ, так как РП-5 по радиальной резервированной линии подключается к РП-4 на дополнительные ячейки 6 кВ, в таком случае КТП-4, КТП-5 и КТП-6 подключаются резервированными радиальными кабельными линиями к РП-4 и РП-5 соответственно.

Развитие сетей 6 кВ внутреннего электроснабжения по 1 варианту предполагает установку двух ячеек КРУ №19,20 и двух двигательных ячеек КНР-6 кВ в РП-4. Всего для развития системы электроснабжения и подключения двигателей 6 кВ в количестве 6 штук и двух трансформаторных подстанций 2хКТП-1000 по радиальной схеме требуется задействовать 10 линейных ячеек КРУ (6 двигательных ячеек, 4 трансформаторных) 6 ячеек управления двигателями 6 кВ КНР. На РП-4 из требуемого количества линейных ячеек предусмотрено на перспективу 5 линейных ячеек, из требуемых 6 двигательных ячеек в РП-4 установлена 1 резервная ячейка КНР.

Существующее здание РП-4 позволяет вместить с перестановкой шкафов управления и, как следствие, переподключением цепей сигнализации и управ-

ления 5 требуемых ячеек КРУ-6 кВ и 2 двигательные ячейки КНР-6 кВ. При попытке разместить 5 требуемых ячеек КРУ-6 кВ и 5 двигательных ячеек КНР-6 кВ происходит загромождения центрального коридора здания РП-4, полный отказ от размещения шкафов управления и сигнализации в здании РП-4 одновременно с невозможностью обслуживания аппаратов КРУ в связи с сокращением ширины коридоров обслуживания.. Таким образом, предлагается компоновка РП-4 с использованием резервных ячеек КРУ-6 кВ в количестве 5 штук и докомпоновкой двумя ячейками КРУ-6 кВ, также задействована резервная двигательная ячейка КНР-6 кВ и монтируется две двигательные ячейки КНР-6 кВ вдоль ряда ячеек КНР-6 кВ. Для питания блока измельчения №6 отдельно сооружается здание РП-5 (11 вакуумных выключателей по требуемой схеме компоновки) полностью идентичное по компоновке и оборудованию зданию РП-4 до расширения. Вводимое в работу оборудование на 2025 год показано штриховой линией, рисунок 7.

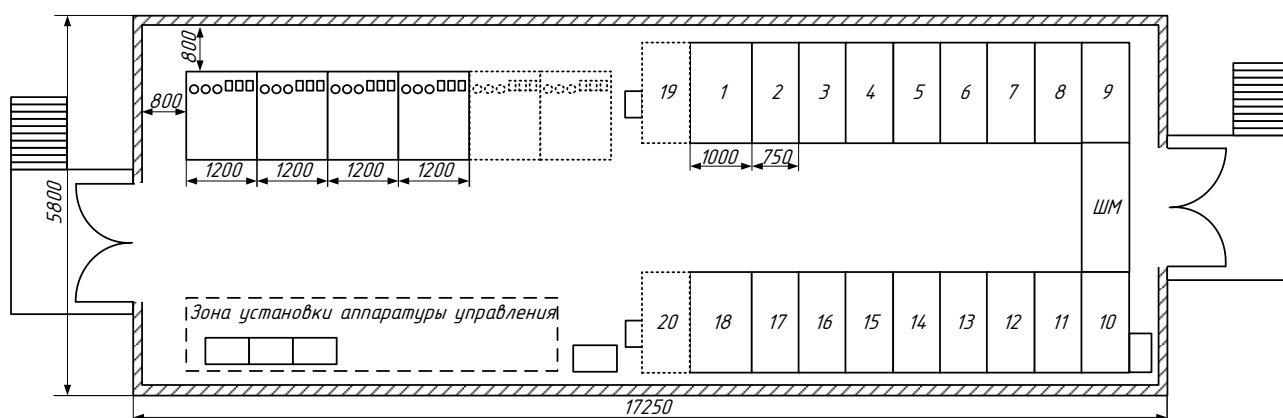


Рисунок 7 – План развития РП-4 ГГМК Пионер до 2025 года

План сетей 6 кВ ГГМК Пионер до 2025 года по варианту 1 показан на рисунке 8, схема сетей 6 кВ ГГМК Пионер до 2025 года по варианту 1 показана на рисунке 9.

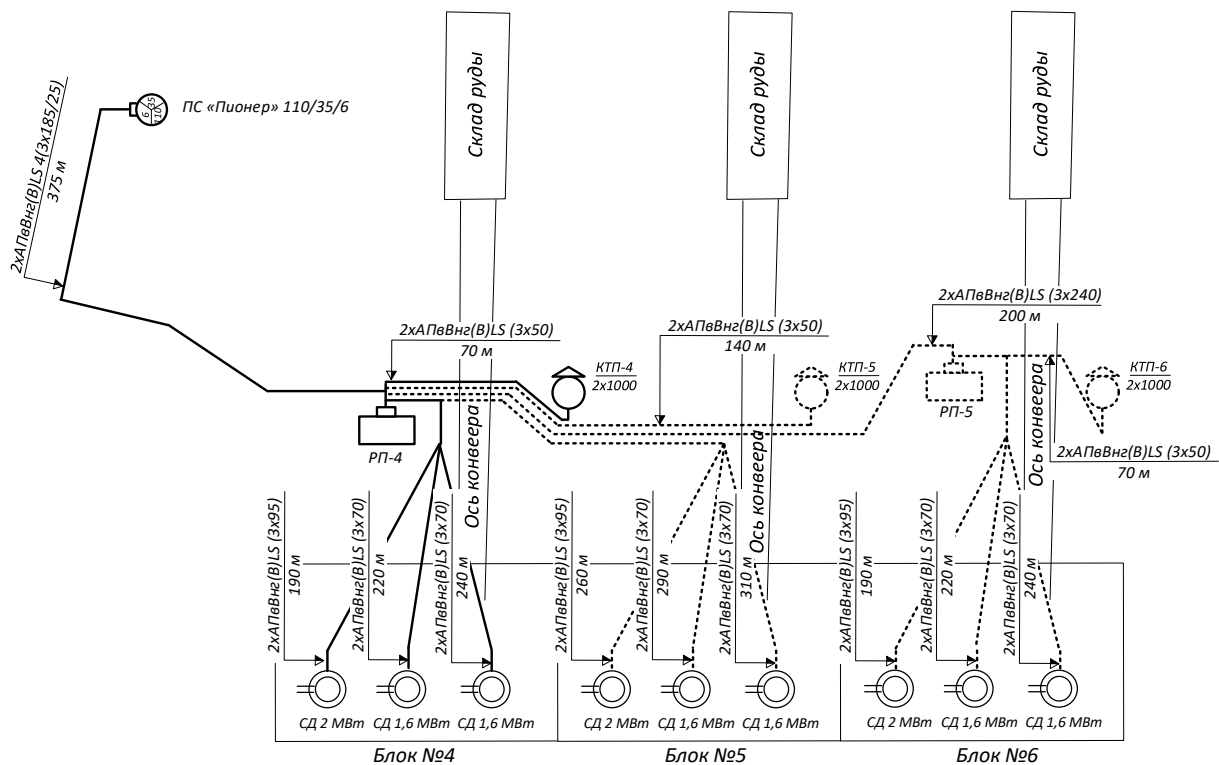


Рисунок 8 – План сетей 6 кВ ГГМК Пионер до 2025 года по варианту 1

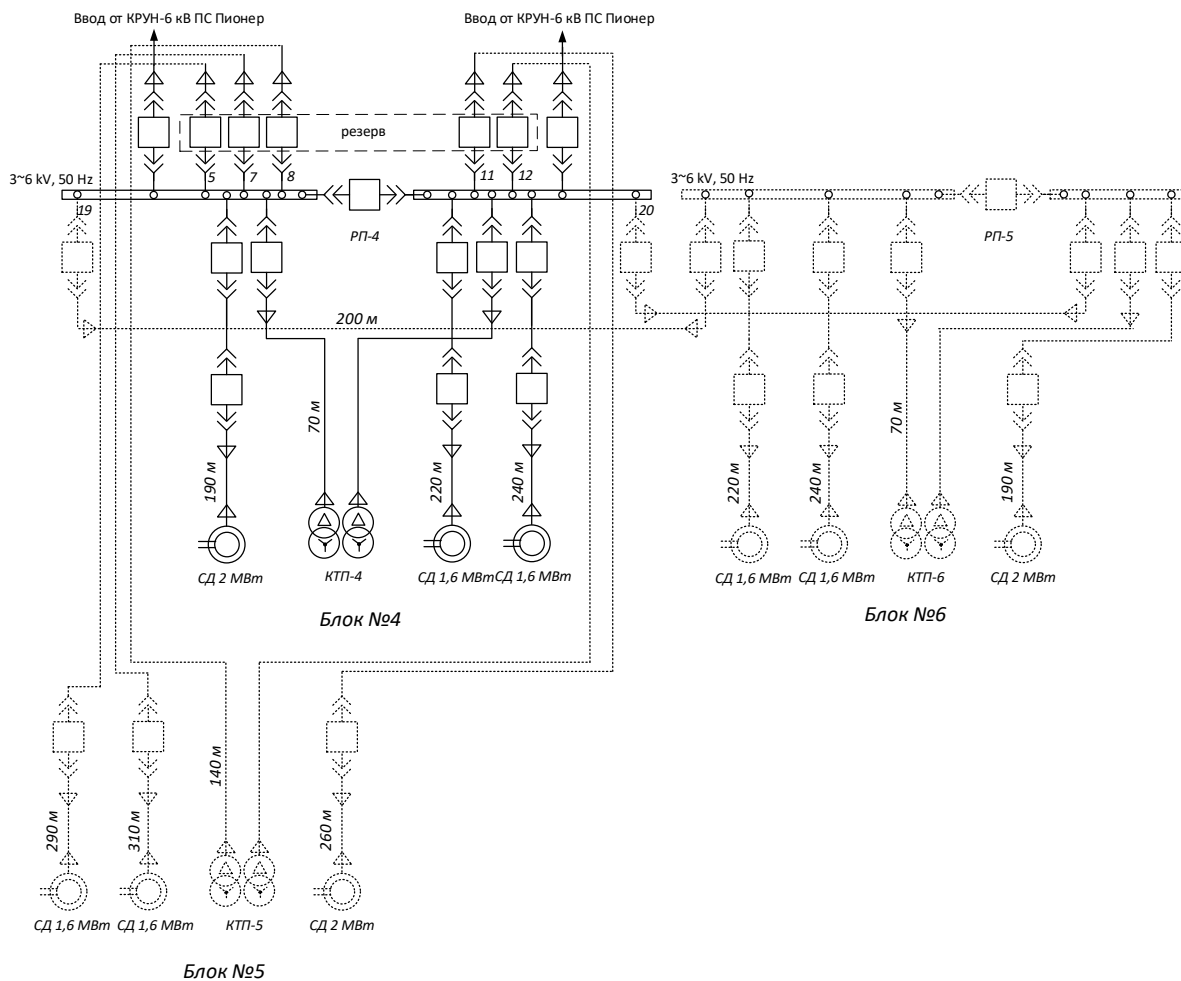


Рисунок 9 – Схема сетей 6 кВ ГГМК Пионер до 2025 года по варианту 1

Вариант №2 развития сетей выполняется по радиальной схеме для питающих и распределительных сетей 6 кВ, так как РП-5 по радиальной резервированной линии подключатся к КРУН-6 кВ ПС Пионер на резервные ячейки, в таком случае затраты на расширения КРУН-6 кВ ПС Пионер не учитываются при сравнении вариантов развития. КТП-4, КТП-5 и КТП-6 подключаются резервированными радиальными кабельными линиями к РП-4 и РП-5 соответственно.

Развитие сетей 6 кВ внутреннего электроснабжения по 2 варианту предполагает установку двух двигательных ячеек КНР-6 кВ в РП-4. Всего для развития системы электроснабжения для подключения двигателей 6 кВ в количестве 6 штук и двух трансформаторных подстанций 2хКТП-1000 по радиальной схеме требуется задействовать 10 линейных ячеек КРУ (6 двигательных ячеек, 4 трансформаторных) 6 ячеек управления двигателями 6 кВ КНР. На РП-4 из требуемого количества линейных ячеек предусмотрено на перспективу 5 линейных ячеек, из требуемых 6 двигательных ячеек в РП-4 установлена 1 резервная ячейка КНР. Таким образом, предлагается компоновка РП-4 с использованием резервных ячеек КРУ-6 кВ в количестве 5 штук, дополнительно задействована резервная двигательная ячейка КНР-6 кВ и монтируется две двигательные ячейки КНР-6 кВ вдоль ряда ячеек КНР-6 кВ. Для питания блока измельчения №6 отдельно сооружается здание РП-5 (11 вакуумных выключателей по требуемой схеме компоновки) полностью идентичное по компоновке и оборудованию зданию РП-4 до расширения. Вводимое в работу оборудование на 2025 год показано штриховой линией.

Подключение РП-5 к центру питания ПС Пионер осуществляется по трассе кабельной эстакады, отличной от варианта 1. Такое решение способствует сокращению длины питающих кабелей РП-5 относительно существующей трассы кабельной эстакады и позволяет не пересекать ось конвейеров 4 и 5. Ось конвейеров проходит ниже уровня трассы кабельной эстакады 6 кВ, чем меньше пересечений трассы кабельной эстакады с осью конвейеров, тем больше вероятность работоспособного состояния кабельной эстакады на случай аварийного режима работы конвейера.

Затраты на сооружение РП-5 не учтены в каждом из предложенных вариантов ввиду схожести их компоновки, но учтены затраты для варианта 1 в части установки дополнительных линейных ячеек КРУ-6 кВ в РП-4 для питания РП-5. В затратах на расширение КРУН-6 кВ ПС Пионер не учитываются дополнительные ячейки КРУН-6 кВ, так как КРУН-6 кВ после реконструкции имеет свободные резервные ячейки в количестве по 3 ячейки на секцию шин.

План сетей 6 кВ ГГМК Пионер до 2025 года по варианту 2 показан на рисунке 10, схема сетей 6 кВ ГГМК Пионер до 2025 года по варианту 2 показана на рисунке 11.

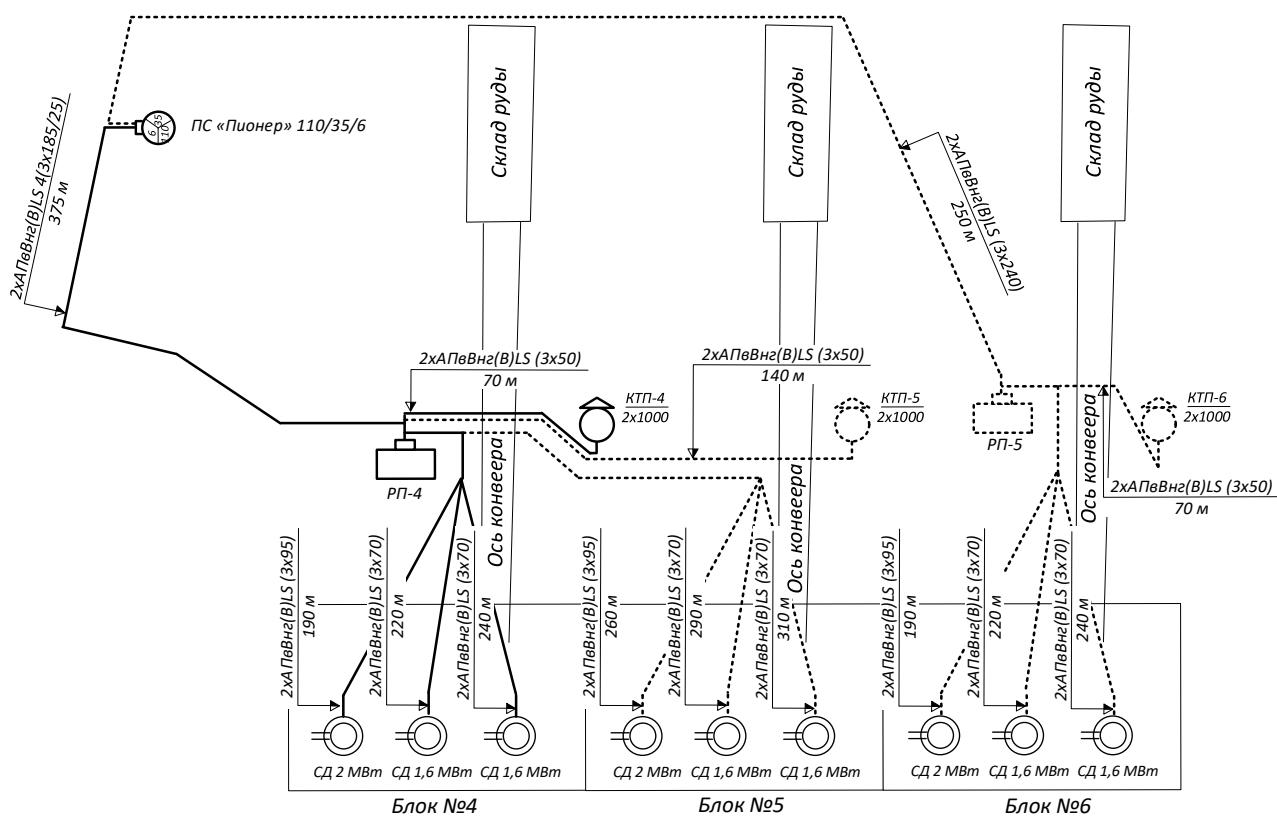


Рисунок 10 – План сетей 6 кВ ГГМК Пионер до 2025 года по варианту 2

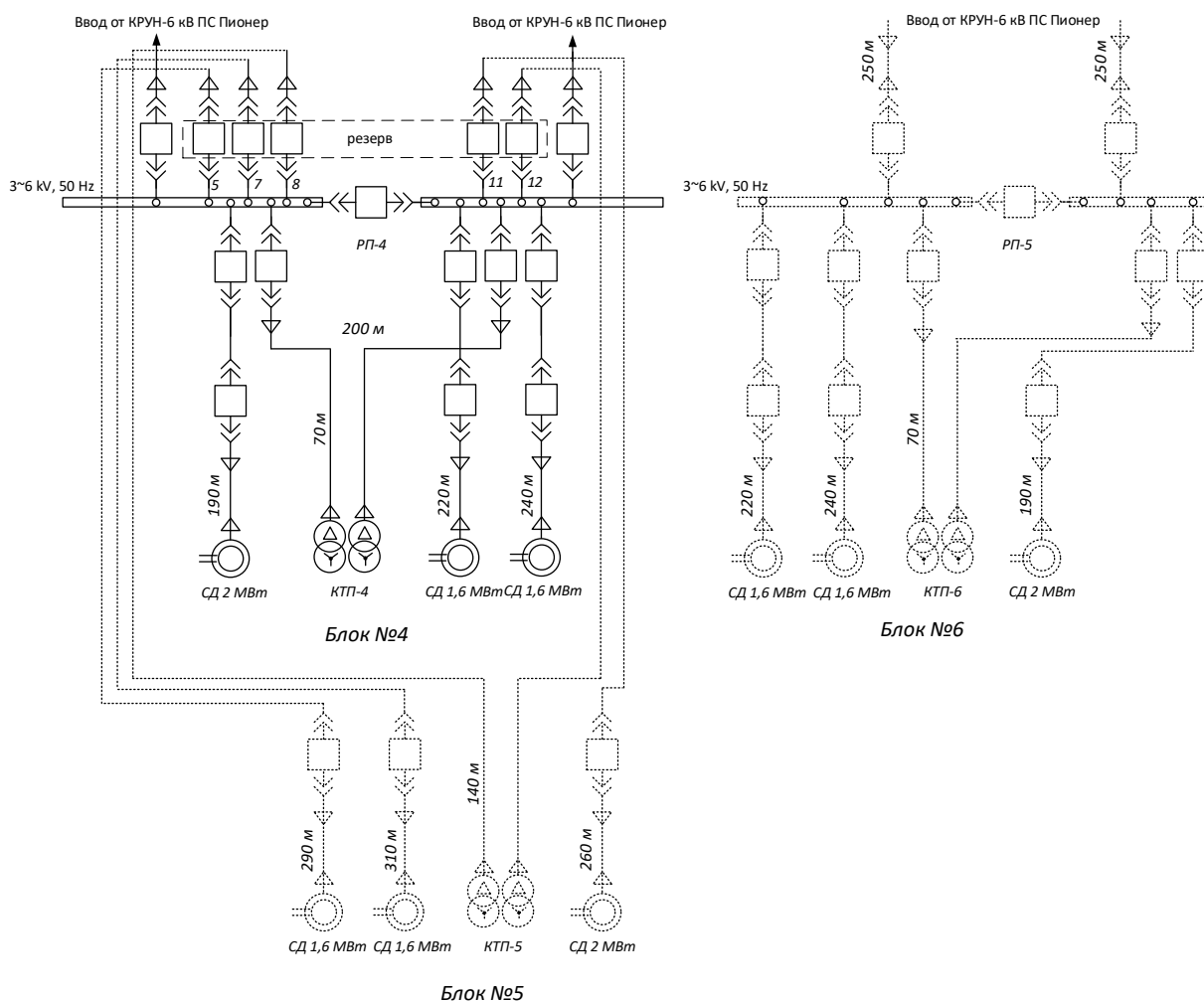


Рисунок 11 – Схема сетей 6 кВ ГГМК Пионер до 2025 года по варианту 2

Выбираются кабели марки АПвВнг(В)LS - трехжильный кабель с алюминиевыми жилами, изоляция из сшитого полиэтилена, негорючая ПВХ оболочка с низким газовыделением при горении с классом пожарной опасности (В), [13].

Выбор кабелей 6 кВ проводится по нагреву расчётным током. Расчетный ток кабелей двухцепной линии питания КТП-4 от РП-4 определяется по формуле, [9]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (53)$$

$$I_p = \frac{\sqrt{1244,9^2 + 748,4^2}}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 2} = 70 \text{ A}.$$

Выбираем кабель марки АПВВнг(В)LS 3х50 по [9]:

$$I_{\text{доп справ}} = 165 \text{ А},$$

Допустимый ток рассчитывается для температуры окружающего воздуха +35 градусов с учетом коэффициента на количество кабелей:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп справ}} \cdot K_{\text{сниж}} \cdot K_t, \quad (54)$$

$$I_{\text{доп}} = 165 \cdot 0.92 \cdot 1 = 152 \text{ А},$$

где $I_{\text{доп справ}}$ - справочная величина, [9];

$K_{\text{сниж}}$ - коэффициент снижения токовой нагрузки, для двух цепей принимается равный 0,92;

K_t - температурный коэффициент равный 1 для температуры окружающего воздуха 35° С.

Выполняется проверка при выборе кабелей 6 кВ по условию:

$$I_p \leq I_{\text{доп}}, \quad (55)$$

$$70 \leq 152 \text{ А}.$$

Далее выполняется проверка по потере напряжения выполняем при условии, что в работе 2 цепи, [9]:

$$\Delta U = \frac{(P_p \cdot R_{\text{л}} + Q_p \cdot X_{\text{л}}) \cdot 100\%}{U_{\text{н}}^2 \cdot 10^{-3}},$$

$$\Delta U = \frac{(1244,9 \cdot 0,045 + 748,4 \cdot 0,007) \cdot 100\%}{6^2 \cdot 10^{-3}} = 0,2\%$$

где $R_{л}$ - активное сопротивление кабельной линии РП-4 – КТП-4, Ом;

$$R_{л} = r_{уд} \cdot l,$$

$$R_{л} = 0,641 \cdot 0,07 = 0,045,$$

где $r_{уд}$ - удельное активное сопротивление кабельной линии, 0,641 Ом·км,
[9];

l - длина линии, по заданию 0,9 км;

$X_{л}$ - реактивное сопротивление кабельной линии, Ом;

$$X_{л} = x_{уд} \cdot l, \tag{56}$$

$$X_{л} = 0,1 \cdot 0,07 = 0,007,$$

где $x_{уд}$ - удельное реактивное сопротивление кабельной линии, 0,1 Ом*км, [9];

Прокладка кабелей 6 кВ осуществляется по кабельным эстакадам, рисунок 12.

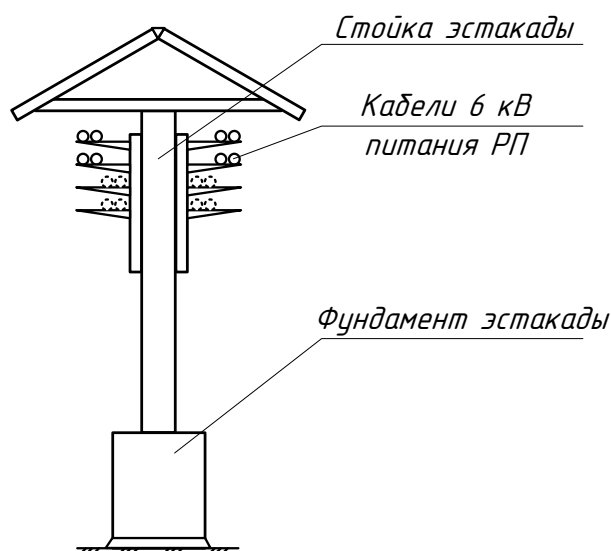


Рисунок 12 – Кабельная эстакада сетей 6 кВ ГГМК Пионер

По итогу расчётов выбранный кабель соответствует допустимой потере напряжения как в нормальном режиме, так и в послеаварийном, учитывая обрыв одной цепи, когда потеря напряжения 0,4%, что допустимо по [9].

Выбора кабелей для обоих вариантов сетей 6 кВ ГГМК Пионер на 2025 год проводится по указанным выше формулам, результаты расчёта представлены в таблице 22. Результаты проверки кабелей представлены в таблице 23.

Таблица 22 – Выбор кабелей 6 кВ ГГМК Пионер на 2025

Питаемые ТП	P_p , кВт	Q_p , кВАр	$I_{p\text{ кл}}$, А	$I_{\text{доп кл}}$, А	L , км	$F_{\text{кл}}$, мм ²
РП4-ТП4 (вариант 1,2)	1244,9	748,4	70	152	0,07	50
РП4-СД2 (вариант 1,2)	2000,0	960,0	214	228	0,19	95
РП4-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	171	188	0,22	70
РП4-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	171	188	0,24	70
РП4-ТП5 (вариант 1,2)	1244,9	748,4	70	152	0,14	50
РП4-СД2 (вариант 1,2)	2000,0	960,0	214	228	0,26	95
РП4-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	171	188	0,29	70
РП4-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	171	188	0,31	70
РП4-РП5 (вариант 1)	6444,9	3244,4	348	397	0,20	240
РП5-ТП6 (вариант 1,2)	1244,9	748,4	70	152	0,07	50
РП5-СД2 (вариант 1,2)	2000,0	960,0	214	228	0,19	95
РП5-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	171	188	0,22	70
РП5-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	171	188	0,24	70
ПС-РП4 4 кабеля на 1 цепь (вариант 1)	16434,5	8273,1	886	1356	0,38	185
ПС-РП5 (вариант 2)	6444,9	3244,4	348	397	0,25	240
ПС-РП4 4 кабеля на 1 цепь (вариант 2)	10956,3	5515,4	591	1356	0,38	185

Таблица 23 – Проверка кабелей 6 кВ ГГМК Пионер на 2025

Питаемые ТП	P_p , кВт	Q_p , кВАр	L , км	$F_{кЛ}$, мм ²	$R_{кЛ}$, Ом/км	$\Delta U_{кЛ}$, %	$\Delta W_{л}$, кВтч
РП4-ТП4 (вариант 1,2)	1244,9	748,4	0,07	50	0,641	0,2	11518
РП4-СД2 (вариант 1,2)	2000,0	960,0	0,19	95	0,32	0,4	72813
РП4-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	0,22	70	0,443	0,5	74699
РП4-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	0,24	70	0,443	0,5	81490
РП4-ТП5 (вариант 1,2)	1244,9	748,4	0,14	50	0,641	0,3	23036
РП4-СД2 (вариант 1,2)	2000,0	960,0	0,26	95	0,32	0,5	99639
РП4-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	0,29	70	0,443	0,6	98467
РП4-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	0,31	70	0,443	0,7	105258
РП4-РП5 (вариант 1)	6444,9	3244,4	0,20	240	0,125	0,6	158357
РП5-ТП6 (вариант 1,2)	1244,9	748,4	0,07	50	0,641	0,2	11518
РП5-СД2 (вариант 1,2)	2000,0	960,0	0,19	95	0,32	0,4	72813
РП5-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	0,22	70	0,443	0,5	74699
РП5-СД1,6 (вариант 1,2)	1600,0	768,0	0,24	70	0,443	0,5	81490
ПС-РП4 4 кабеля на 1 цепь (вариант 1)	16434,5	8273,1	0,38	185	0,164	3,7	633277
ПС-РП5 (вариант 2)	6444,9	3244,4	0,25	240	0,125	0,8	197947
ПС-РП4 4 кабеля на 1 цепь (вариант 2)	10956,3	5515,4	0,38	185	0,164	2,4	281456

Существующая кабельная линия, проложенная на кабельной эстакаде от КРУН-6 кВ ПС Пионер выполнена кабелем АПвВнг(В)LS 4(3x185/25), то есть на каждую цепь кабельной линии использовано 4 трёхжильных кабеля для обеспечения пропускной способности на начальном этапе развития блоков измельчения. С учётом температуры в летний период применяется коэффициент поправки на температуру воздуха 0,92, в таком случае каждая цепь имеет предел по нагрузке в 1354 А (339 А на один кабель, в цепи 4 кабеля). Нагрузка на перспективный период до 2025 года составляет 894 А, таким образом, замена кабеля на участке ПС Пионер – РП-4 не требуется, так как требуемая пропускная способность обеспечивается.

Наибольшая потеря напряжения по второму варианту составляет 4,8%, суммарная потеря напряжения:

$$3,7\% + 0,6\% + 0,5\% = 4,8\% \leq 10\%,$$

Что удовлетворяет требованиям ГОСТ 32144-2013 по медленному изменению напряжения, [6].

3.7 Техноэкономическое обоснование вариантов схем внутреннего электроснабжения

В данном пункте проводится сравнение варианта 1 и 2 сетей 6 кВ ГГМК Пионер по приведенным затратам. Приведенные затраты определяются по формуле:

$$Z = E_H \cdot K + И = E_H \cdot (K_{ВЛ} + K_{ВЫКЛ}) + (A \cdot K_{ВЛ} + A \cdot K_{ВЫКЛ}) + C_0 \cdot (\Delta W_{ВЛ}) \cdot 10^{-3}, \quad (57)$$

где $E_H = 0,1$ - норматив дисконтирования;

$K_{ВЛ}$ и $K_{ВЫКЛ}$ - стоимость КЛ и выключателей соответственно, [10];

$C_0 = 1.24644$ руб/кВт*ч – стоимость потерь электроэнергии для Амурской области на 2021 год;

A - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание
 $a_{ам.выкл} = 5,9\%$, $a_{ам.ВЛЭП} = 0,5\%$;

$\Delta W_{ВЛ}$ - потери электроэнергии в ВЛ.

Потери в кабельных линиях для варианта 1 и 2 рассчитываются по формуле:

$$\Delta W_{ВЛ} = \frac{P_p^2 + Q_p^2}{U_{ном}^2} \cdot R \cdot T, \quad (58)$$

где $P_{л}$ – потоки активной мощности по линии, МВт;

$Q_{л}$ – потоки реактивной мощности по линии, МВАр;

R, X – активное и реактивное сопротивление линии, Ом;

T – число часов.

Результаты расчёта сведены в таблицу 24.

Таблица 24– Приведенные затраты для вариантов сети 6 кВ ГГМК Пионер

исходные данные	по варианту 1	по варианту 2
$N_{\text{выкл}}$, ШТ	16	14
$L_{\text{пров}50}$, км	0,6	0,6
$L_{\text{пров}70}$, км	1,52	1,52
$L_{\text{пров}95}$, км	0,64	0,64
$L_{\text{пров}240}$, км	0,40	0,50
$C_{\text{выкл}}$, тыс. руб	600	600
$C_{\text{пров}50}$, тыс. руб	630	630
$C_{\text{пров}70}$, тыс. руб	805	805
$C_{\text{пров}95}$, тыс. руб	1041	1041
$C_{\text{пров}240}$, тыс. руб	2158	2158
$C_{\text{потерь ээ}}$, руб/кВтч	1,24644	1,24644
расчётные данные	по варианту 1	по варианту 2
$I_{\text{пров экспл}}$, тыс. руб	15,5	16,6
$I_{\text{выкл экспл}}$, тыс. руб	566	496
$I_{\text{аморт}}$, тыс. руб	635	586
ΔW , кВт*ч	1599074	1286843
$I_{\text{потерь ээ}}$, тыс. руб	1993	1604
Z , тыс. руб	4481	3874
K , тыс. руб	12705,84	11721,64

Расчётами приведенных затрат подтверждена экономичность варианта №2 развития сетей по радиальной схеме для питающих и распределительных сетей 6 кВ ГГМК Пионер на 2025 год. Относительно капиталовложений вариант №2 выгоднее на 984 тыс.руб. (7,7%), относительно затрат на потери электроэнергии на 389 тыс.руб. (19,5%), относительно приведенных затрат на 607 тыс.руб. (13,5%).

3.8 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ

Для определения уровня токов КЗ в принятой схеме электроснабжения 6 кВ ГГМК Пионер проведём расчет токов КЗ на шинах 6 кВ РП-4. Характерными точками КЗ выбираются шины 6 кВ РП-4, сторона ВН ТП-4, зажимы высокой стороны электродвигателей 6 кВ. Отдельно выделяется режим работы РП-4 – секции шин работают независимо, секционный выключатель в положении «ВЫКЛЮЧЕН».

В таком случае на перспективный период до 2025 года к каждой секции шин будет подключено по три двигателя 6 кВ (два по 1,6 МВт и один 2 МВт) и расчётная схема примет вид, как показано на рисунке 13.

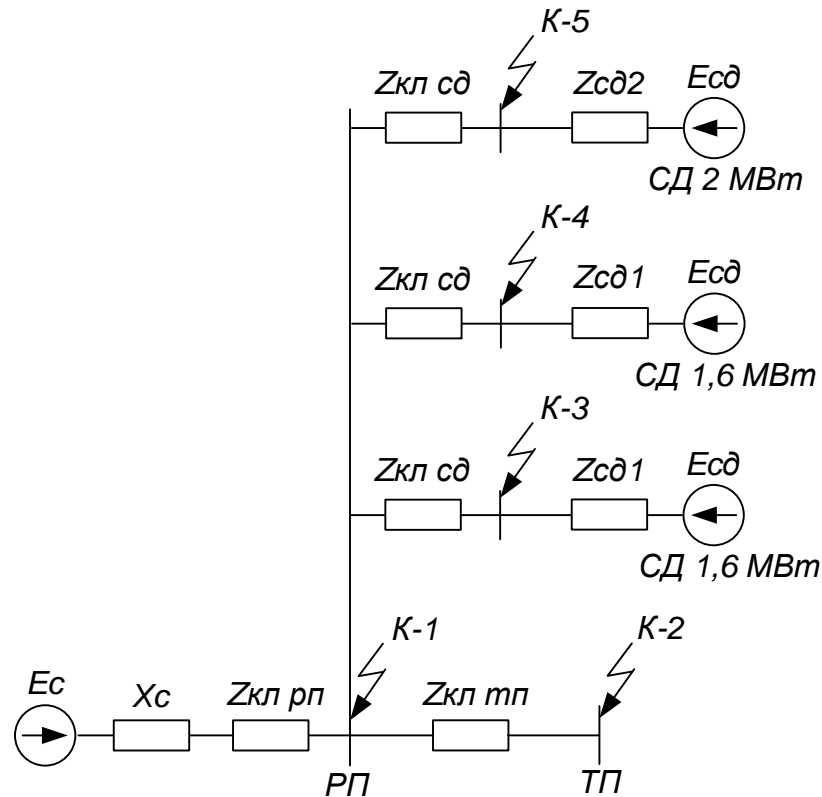


Рисунок 13 - Схема замещения участка 6 кВ ГГМК Пионер

Используется метод приближенного приведения в относительных единицах, ожидаемая погрешность метода составляет 10%. Выбираем базисное напряжение $U_{\sigma} = U_{нн} = 6,3$ кВ. Выбираем базисную мощность $S_{\sigma} = 100$ МВА.

Найдём значение базисного тока:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}; \quad (59)$$

$$I_{\sigma} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,916 \text{ кА}.$$

Для расчёта значений токов КЗ используются индуктивные сопротивления элементов схемы замещения, активные сопротивления для расчёта посто-

янной времени затухания не будут использованы, так как будут использованы справочные данные [10].

Сопротивление кабельных линий Л1-Л2:

$$x_{\lambda} = l \cdot x_{y\delta} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}; \quad (60)$$

$$x_{\lambda\Pi} = 0,16 \cdot 0,375 \cdot \frac{10}{6,3^2} = 0,015;$$

$$x_{\lambda\text{СД1}} = 0,4 \cdot 0,19 \cdot \frac{10}{6,3^2} = 0,019;$$

$$x_{\lambda\text{СД2}} = 0,4 \cdot 0,22 \cdot \frac{10}{6,3^2} = 0,022;$$

$$x_{\lambda\text{СД3}} = 0,4 \cdot 0,24 \cdot \frac{10}{6,3^2} = 0,024;$$

$$x_{\lambda\Pi\Pi} = 0,64 \cdot 0,07 \cdot \frac{10}{6,3^2} = 0,011.$$

Сопротивление синхронного двигателя СД1 и СД2 при $x'' = 0,15, r'' = 0,04$, по [3]:

$$x_{\text{СД}} = x'' \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{СД}}}; \quad (61)$$

$$x_{\text{СД1}} = 0,15 \cdot \frac{10}{1,6/0,9} = 0,844;$$

$$x_{CD2} = 0,15 \cdot \frac{10}{2/0,9} = 0,675 .$$

Сопротивление системы С при отключающей способности выключателя 6 кВ на ПС Пионер $I_{K3}=20$ кА:

$$x_c = \frac{I_{\phi}}{I_{K3}} ; \tag{62}$$

$$x_c = \frac{0,916}{20} = 0,046 .$$

ЭДС источников принимается по рекомендациям [3]:

$$E_c = 1;$$

$$E_{CD1} = E_{CD2} = 1,074.$$

Для приведения схемы замещения к простейшему виду используются типовые формулы и рекомендации [3].

Сворачивание схемы для нахождения тока КЗ в точке К1 начинаем со стороны 6 кВ РП по следующему алгоритму:

$$x_1 = \frac{1}{\frac{1}{(x_c + x_{лРП})} + \frac{1}{(x_{CD1} + x_{лCD1})} + \frac{1}{(x_{CD1} + x_{лCD2})} + \frac{1}{(x_{CD2} + x_{лCD3})}} ; \tag{63}$$

$$x_1 = \frac{1}{\frac{1}{(0,046 + 0,015)} + \frac{1}{(0,844 + 0,019)} + \frac{1}{(0,844 + 0,022)} + \frac{1}{(0,675 + 0,024)}} = 0,05 ;$$

$$E_1 = \frac{\frac{E_C}{(x_c + x_{лРП})} + \frac{E_{СД}}{(x_{СД1} + x_{лСД1})} + \frac{E_{СД}}{(x_{СД1} + x_{лСД2})} + \frac{E_{СД}}{(x_{СД2} + x_{лСД3})}}{\frac{1}{(x_c + x_{лРП})} + \frac{1}{(x_{СД1} + x_{лСД1})} + \frac{1}{(x_{СД1} + x_{лСД2})} + \frac{1}{(x_{СД2} + x_{лСД3})}}; \quad (64)$$

$$E_1 = \frac{\frac{1}{(0,046+0,015)} + \frac{1,074}{(0,844+0,019)} + \frac{1,074}{(0,844+0,022)} + \frac{1,074}{(0,675+0,024)}}{\frac{1}{(0,046+0,015)} + \frac{1}{(0,844+0,019)} + \frac{1}{(0,844+0,022)} + \frac{1}{(0,675+0,024)}} = 1,014.$$

Определение начального периодического тока КЗ:

$$I_{Пок1} = \frac{E_1 \cdot I_B}{x_1}; \quad (65)$$

$$I_{Пок1} = \frac{1,014 \cdot 0,916}{0,05} = 18,72 \text{ кА}.$$

Расчет ударного коэффициента тока КЗ:

$$\kappa_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}; \quad (66)$$

где T_a – постоянная времени затухания периодической составляющей тока короткого замыкания, принимается по справочнику 0,04 с для шин 6 кВ РП, и 0,055 для СД.

$$\kappa_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,04}} = 1,78;$$

$$i_{y0K1} = \sqrt{2} \cdot I_{Пок1} \cdot \kappa_y; \quad (67)$$

$$i_{y0K1} = \sqrt{2} \cdot 18,72 \cdot 1,78 = 47,2 \text{ кА}.$$

Дополнительно для сети 6 кВ находим ток двухфазного короткого замыкания:

$$I_{ноК1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{ноК1}^{(3)} \quad (68)$$

$$I_{пок1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 18,72 = 16,29 \text{ кА.}$$

Для точек КЗ К2, К3, К4, К5 расчёт ведётся аналогично по данному алгоритму, результаты расчёта сводим в таблицу 25.

Таблица 25 – Токи короткого замыкания в сети 6 кВ

Точка	$I_{по}^{(3)}$, кА	$I_{по}^{(2)}$, кА	T, с	Куд	Iуд, кА
К-1	18,72	16,29	0,041	1,78	47,2
К-2	15,25	13,27	0,056	1,84	39,6
К-3	14,06	12,23	0,056	1,84	36,5
К-4	14,06	12,23	0,056	1,84	36,5
К-5	13,38	11,64	0,056	1,84	34,7

3.9 Проверка кабелей 6 кВ на воздействие токов КЗ

Проверка на воздействие токов КЗ проводится для кабельной линии ПС Пионер-РП по формуле, кА*с, [14]:

$$B_{k \text{ расч}} = I_{по}^{(3)2} \cdot t_{возд} \quad (69)$$

$$B_{k \text{ упр}} = I_{терм}^{(3)2} \cdot t_{возд \text{ ном}}$$

$$B_{k \text{ расч}} = 18,72^2 \cdot (0,1 + 0,5 + 0,04) = 224,6,$$

$$B_{k \text{ упр}} = 17,5^2 \cdot 3 = 918,75,$$

где $I_{ПО}^{(3)}$ - ток КЗ на шинах 6 кВ РП, кА;

$I_{терм}^{(3)}$ - ток термической стойкости для проверяемого кабеля сечением 185 мм², 17,5 кА, [10];

$t_{возд}$ - время воздействия тока КЗ:

$t_{возд ном}$ - номинальное время воздействия тока, 3с:

$$t_{возд} = t_{отк} + \Delta t + T_a, \quad (70)$$

где $t_{отк}$ - время отключения головного выключателя, принимается 0,1 с для вакуумного выключателя;

Δt - ступень селективности защиты, 0,5 с,

T_a – постоянная времени затухания периодической составляющей тока короткого замыкания, принимается по справочнику 0,04 с для шин 6 кВ РП, и 0,055 для СД.

Результаты расчёта сводим в таблицу 26.

Таблица 26 – Проверка кабелей 6 кВ по термической стойкости

Точка	$I_{по}^{(3)}$, кА	$V_{К расч}$	$V_{К ном}$	Условие
К-1	18,72	224,6	918,75	выполнено
К-2	15,25	268,8	66,27	не выполнено, усиление до 120 мм ²
К-3	14,06	228,5	130,68	не выполнено, усиление до 95 мм ²
К-4	14,06	228,5	130,68	не выполнено, усиление до 95 мм ²
К-5	13,38	207,0	237,63	выполнено

В результате проверки выявлено, что для перспективной схемы 6 кВ ГГМК Пионер на 2025 год требуется увеличить сечение кабелей 6 кВ, питающих синхронные двигатели 6 кВ от каждой секции шин 6 кВ РП с 70 до 95 мм² для СД мощностью 1,6 МВт и с 95 до 120 мм² для СД мощностью 2 МВт.

4 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ 6 КВ

4.1 Выбор и проверка распределительного устройства 6 кВ

Распределительное устройство 6 кВ ПС Пионер выполнено ячейками типа LVB-12-250-1250. Требуется проверить данные ячейки на возможность их использования для подключения РП-4 и РП-5. На РП-4 и РП-5 используется комплектное распределительное устройство 10 кВ типа КМП-С, на ТП-4, ТП-5, ТП-6 - КСО-306ШВВ с выключателями ВВ/Тел-10-20/1000 У1.

Требуется рассчитать номинальный и расчётный тепловые импульсы для проверки данных распределительных устройств. Номинальное значение теплового импульса определяется по формуле на примере выключателей на ПС Пионер:

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} ,$$

$$B_{\text{Кном}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}.$$

где $I_{\text{терм}}$ – ток термической стойкости, для трёхсекундного тока принимается 20 кА;

$t_{\text{терм}}$ - время термической стойкости, в течении которого обеспечивается целостность оборудования КРУ, принимается 3 с.

Расчётное значение теплового импульса определяется по формуле на примере КРУ ПС Пионер:

$$B_{\text{К}} = I_{\text{ПОК1}}^{(3)2} \cdot (t_{\text{ов}} + \Delta t_{\text{СЕЛ}}) ,$$

$$B_{\text{К}} = 18,72^2 \cdot (0,04 + 1) = 364,5 \text{ кА}^2\text{с},$$

где $t_{ог}$ – собственное время отключения выключателя, принимается $t_{пз} + t_{отк} = 0.04$ с;

$\Delta t_{СЕЛ}$ - степень селективности РЗ, принимается 1 с.

Проверку по номинальному напряжению, расчётному току и прочим параметрам сводим в таблицу 27.

Таблица 27 – Выбор и проверка КРУ 6 кВ

Параметр проверки	Условие	Результат сравнения	примечание
ячейки РП-4 на ПС Пионер			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$12,5 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$1250 \geq 1182$	Условие соблюдено
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{уд}$	$50 \geq 47,2$	Условие соблюдено
Термическая устойчивость	$B_{к.ном} \geq B_{к}$	$1200 \geq 364,5$	Условие соблюдено
ячейки РП-5 на ПС Пионер			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$12,5 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$1250 \geq 695$	Условие соблюдено
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{уд}$	$50 \geq 47,2$	Условие соблюдено
Термическая устойчивость	$B_{к.ном} \geq B_{к}$	$1200 \geq 364,5$	Условие соблюдено
ячейки ТП-4, ТП-5, ТП-6 на РП-4, РП-5			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$1000 \geq 140$	Условие соблюдено
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{уд}$	$50 \geq 39,6$	Условие соблюдено
Термическая устойчивость	$B_{к.ном} \geq B_{к}$	$1200 \geq 358$	Условие соблюдено
ячейки СД на РП-4, РП-5			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$1000 \geq 214$	Условие соблюдено
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{уд}$	$50 \geq 36,5$	Условие соблюдено
Термическая устойчивость	$B_{к.ном} \geq B_{к}$	$1200 \geq 304$	Условие соблюдено

Проверку по всем условиям успешно проходят все типы применяемых КРУ.

4.2 Выбор и проверка выключателей 6 кВ

Требуется проверить выключатели, установленные в соответствующих КРУ и КСО на ПС Пионер, РП и ТП. Номинальное значение теплового импульса определяется по формуле на примере выключателей на ПС Пионер:

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм} ,$$

$$B_{\text{Кном}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}.$$

где $I_{\text{терм}}$ – ток термической стойкости, для трёхсекундного тока принимается 20 кА;

$t_{\text{терм}}$ – время термической стойкости, в течении которого обеспечивается целостность оборудования КРУ, принимается 3 с.

Расчётное значение теплового импульса определяется по формуле на примере выключателей на ПС Пионер:

$$B_{\text{К}} = I_{\text{ПОК1}}^{(3)2} \cdot (t_{\text{ов}} + \Delta t_{\text{СЕЛ}}),$$

$$B_{\text{К}} = 18,72^2 \cdot (0,04 + 1) = 364,5 \text{ кА}^2\text{с},$$

где $t_{\text{ов}}$ – собственное время отключения выключателя, принимается $t_{\text{рз}} + t_{\text{отк}} = 0,04$ с;

$\Delta t_{\text{СЕЛ}}$ – степень селективности РЗ, принимается 1 с.

Определяется апериодическая составляющая по формуле:

$$i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном откл}},$$

$$i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 20 = 11,3 \text{ кА},$$

где $\beta_{\text{н}}$ – процент относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе, для выключателя ПС Пионер $\beta_{\text{н}} = 40\%$;

$I_{\text{ном откл}}$ – номинальный ток отключения, 20 кА.

Выполняется проверка на отключение полного расчётного тока КЗ по выражению:

$$\sqrt{2} \cdot I_{no}^{(3)} + i_{at} \leq \sqrt{2} \cdot I_{НОМОТК} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right);$$

$$\sqrt{2} \cdot 18,72 + 4,8 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{0,40}{100}\right);$$

$$31,2 \leq 39,5 \text{ кА.}$$

Проверку по номинальному напряжению, расчётному току и прочим параметрам сводим в таблицу 28.

Таблица 28 – Выбор и проверка выключателей 6 кВ

Параметр проверки	Условие	Результат сравнения	примечание
1	2	3	4
выключатели на ПС Пионер LVB-12-250-1250			
Напряжение установки	$U_{НОМ} \geq U_{уст}$	$12,5 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{НОМ} \geq I_{рmax}$	$1250 \geq 1182$	Условие соблюдено
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{yд}$	$50 \geq 47,2$	Условие соблюдено
Термическая устойчивость	$B_{к.ном} \geq B_{к}$	$1200 \geq 364,5$	Условие соблюдено
Отключающая способность	$I_{вкл} \geq I_{по}$	$20 \geq 18,72$	Условие соблюдено
	$I_{откл} \geq I_{пт}$	$20 \geq 18,72$	Условие соблюдено
	$i_{а.ном} \geq i_{at}$	$11,3 \geq 4,8$	Условие соблюдено
	$\sqrt{2} \cdot I_{по}^{(3)} + i_{at} \leq \sqrt{2} \cdot I_{НОМОТК} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right)$	$31,2 \leq 39,5$	Условие соблюдено
выключатели ТП-4, ТП-5, ТП-6 на РП-4, РП-5 ВВ/Тел-10-20/1000 У1			
Напряжение установки	$U_{НОМ} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{НОМ} \geq I_{рmax}$	$1000 \geq 140$	Условие соблюдено
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{yд}$	$50 \geq 39,6$	Условие соблюдено
Термическая устойчивость	$B_{к.ном} \geq B_{к}$	$1200 \geq 358$	Условие соблюдено
Отключающая способность	$I_{вкл} \geq I_{по}$	$20 \geq 15,25$	Условие соблюдено
	$I_{откл} \geq I_{пт}$	$20 \geq 15,25$	Условие соблюдено

Продолжение таблицы 28

1	2	3	4
	$i_{a,ном} \geq i_{at}$	$11,3 \geq 4,3$	Условие соблюдено
	$\sqrt{2} \cdot I_{ПО}^{(3)} + i_{at} \leq \sqrt{2} \cdot I_{НОМОТК} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right)$	$25,8 \leq 39,5$	Условие соблюдено
выключатели СД на РП-4, РП-5 ВВ/Тел-10-20/1000 У1			
Напряжение установ- ки	$U_{НОМ} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{НОМ} \geq I_{рmax}$	$1000 \geq 214$	Условие соблюдено
Динамическая стой- кость	$i_{скв} \geq i_{уд}$	$50 \geq 36,5$	Условие соблюдено
Термическая устой- чивость	$B_{к.ном} \geq B_k$	$1200 \geq 304$	Условие соблюдено
Отключающая спо- собность	$I_{вкл} \geq I_{по}$	$20 \geq 14,06$	Условие соблюдено
	$I_{откл} \geq I_{пт}$	$20 \geq 14,06$	Условие соблюдено
	$i_{a,ном} \geq i_{at}$	$11,3 \geq 3,9$	Условие соблюдено
	$\sqrt{2} \cdot I_{ПО}^{(3)} + i_{at} \leq \sqrt{2} \cdot I_{НОМОТК} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right)$	$23,7 \leq 39,5$	Условие соблюдено

Проверку по всем условиям успешно проходят все типы применяемых выключателей.

4.3 Выбор и проверка трансформаторов тока 6 кВ

Требуется проверить трансформаторы тока, установленные в соответствующих КРУ и КСО на ПС Пионер, РП и ТП. Номинальное значение теплового импульса определяется по формуле на примере трансформаторов тока на ПС Пионер:

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм} ,$$

$$B_{Кном} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}.$$

где $I_{терм}$ – ток термической стойкости, для трёхсекундного тока принимается 20 кА;

$t_{терм}$ - время термической стойкости, в течении которого обеспечивается целостность оборудования КРУ, принимается 3 с.

Расчётное значение теплового импульса определяется по формуле на примере трансформаторов тока на ПС Пионер:

$$ВК = I_{ПОК1}^{(3)2} \cdot (t_{ог} + \Delta t_{СЕЛ}),$$

$$ВК = 18,72^2 \cdot (0,04 + 1) = 364,5 \text{ кА}^2\text{с},$$

где $t_{ог}$ – собственное время отключения выключателя, принимается $t_{пз} + t_{отк} = 0,04$ с;

$\Delta t_{СЕЛ}$ - степень селективности РЗ, принимается 1 с.

Для оценки возможности работать в пределе класса точности 0,5 необходимо определить вторичную нагрузку трансформаторов тока. К вводным трансформаторам тока соответствующих КРУ подключено наибольшее количество измерительных приборов – амперметр, ваттметр, варметр, счетчик электроэнергии, для линейных трансформаторов тока приборы, подключаемые к вторичной цепи – амперметр, счётчик электроэнергии, для секционных трансформаторов тока – амперметр. Таким образом, достаточно оценить способность вводных трансформаторов тока работать с соответствующей вторичной нагрузкой и сохранять при этом требуемых класс точности (0,5).

Нагрузка вторичной цепи вводных трансформаторов тока на РП-4 и РП-5 определяется по формуле:

$$r_2 = r_{приб} + r_{пр} + r_{конт},$$

где $r_{приб}$ – сопротивление приборов, Ом;

$r_{пр}$ – сопротивление проводов, Ом;

$r_{конт}$ – сопротивление контактных соединений, приближенно 0,1 Ом.

Номинальное сопротивление вторичной обмотки вводных трансформаторов тока на РП-4 и РП-5 определяется по формуле:

$$Z_{2H} = \frac{S_{приб}}{I_2},$$

$$Z_{2H} = \frac{14}{5^2} = 0.56 \text{ Ом.}$$

где $S_{приб}$ – полная мощность подключенных приборов, 14 ВА для класса точности 0,5;

I_2 – вторичный номинальный ток, принимается 5 А.

Нагрузка вторичной цепи трансформаторов тока показана в таблице 29.

Таблица 29 – Вторичная нагрузка вводных трансформаторов тока 6 кВ

Измерительный прибор вторичных цепей	Тип прибора	Нагрузка прибора по фазам, ВА		
		А	В	С
Амперметр	ЩП120-П3000		0.9	
Счетчик АЭ и РЭ	СЭТ4-ТМ02М	1.5		1.5
Ватметр	ЩП120-ВТ1000	0.2		0.2
Варметр	ЩП120-ВТ1100	0.2		0.2
Всего*		1,9	0.9	1,9

*-для линейных трансформаторов тока нагрузка составит 0,9 ВА

Из таблицы 29 вычисляется нагрузка наиболее загруженные фазы вводного трансформатора тока (А и С) – 1,9 ВА для каждой фазы, для линейных трансформаторов тока нагрузка составит 1,5 ВА для подключения амперметра и счётчика электроэнергии (А и С).

Общее сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2},$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{1,9}{5^2} = 0,08 \text{ Ом},$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность подключенных приборов по таблице 11, ВА;

I_2 – вторичный номинальный ток, принимается 5 А.

Для подключения проводов используется провод АКРВГ $q=4\text{мм}^2$ с алюминиевыми жилами и удельным сопротивлением $c=0,0283$. Длину проводов примем $l=15$ м:

$$r_{\text{пр}} = \frac{c \cdot l}{q},$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 15}{4} = 0,11 \text{ Ом},$$

$$r_2 = 0,1 + 0,08 + 0,11 = 0,29 \text{ Ом}.$$

Проверку по номинальному напряжению, расчётному току и прочим параметрам сводим в таблицу 30.

Таблица 30 – Выбор и проверка трансформаторов тока 6 кВ

Параметр проверки	Условие	Результат сравнения	примечание
1	2	3	4
трансформаторы тока на ПС Пионер ТОЛ-10-1 УЗ			
Напряжение установки	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$	$12,5 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$	$1600 \geq 1182$	Условие соблюдено
Динамическая стойкость	$i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$	$50 \geq 47,2$	Условие соблюдено
Термическая устойчивость	$B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$	$1200 \geq 364,5$	Условие соблюдено
класс точности k_T	$k_T \leq 0,5$	$0,5 \leq 0,5$	Условие соблюдено
Вторичная нагрузка	$Z_2 \leq Z_{2\text{НОМ}}$	$0,29 \leq 0,56$	Условие соблюдено
трансформаторы тока ТП-4, ТП-5, ТП-6 на РП-4, РП-5 ТОЛ-10-1 УЗ			
Напряжение установки	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$	$200 \geq 140$	Условие соблюдено
Динамическая стойкость	$i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$	$50 \geq 39,6$	Условие соблюдено
Термическая устойчивость	$B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$	$1200 \geq 358$	Условие соблюдено
класс точности k_T	$k_T \leq 0,5$	$0,5 \leq 0,5$	Условие соблюдено
Вторичная нагрузка	$Z_2 \leq Z_{2\text{НОМ}}$	$0,29 \leq 0,56$	Условие соблюдено
трансформаторы тока СД на РП-4, РП-5 ТОЛ-10-1 УЗ			

1	2	3	4
Напряжение установки	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$	$300 \geq 214$	Условие соблюдено
Динамическая стойкость	$i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$	$50 \geq 36,5$	Условие соблюдено
Термическая устойчивость	$V_{\text{к.НОМ}} \geq V_{\text{к}}$	$1200 \geq 304$	Условие соблюдено
класс точности k_T	$k_T \leq 0,5$	$0,5 \leq 0,5$	Условие соблюдено
Вторичная нагрузка	$Z_2 \leq Z_{2\text{НОМ}}$	$0,29 \leq 0,56$	Условие соблюдено

Проверку по всем условиям успешно проходят все типы применяемых трансформаторов тока.

4.4 Выбор и проверка трансформаторов напряжения 6 кВ

Так как на рассматриваемом участке сети 6 кВ ГГМК Пионер задействованы синхронные двигатели 6 кВ, в период пуска которых в питающую сеть 6 кВ генерируются кондуктивные электромагнитные помехи, то целесообразно заменить существующие трансформаторы напряжения марки ЗНОЛ-6-У3 на трансформатор напряжения марки НАМИ - 6 У3.

Нагрузка вторичной цепи трансформаторов напряжения показана в таблице 31.

Таблица 31 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 6 кВ

Измерительный прибор вторичных цепей	Тип прибора	$S_{\text{потр.}}$ ВА	Число катушек	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	Нагрузка прибора		Количество приборов
						P_2 , Вт	Q_2 , Вар	
Вольтметр	ЩП120-П500В	4	1	1	0	2	-	2
Ватметр	ЩП120-ВТ1000	1,5	2	1	0	3	-	1
Варметр	ЩП120-ВТ1100	1,5	2	1	0	3	-	1
Счетчик АЭ и РЭ	СЭТ4-ТМ02М	2,5 Вт	3	0,9	0,48	6,75	3,6	6
		2,5 Вт	3	0,9	0,48	6,75	3,6	
Итого	-	-	-	-	-	50,5	21,6	10

Из таблицы 31 вычисляется вторичная нагрузка трансформаторов напряжения, ВА:

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2},$$

$$S_2 = \sqrt{50,5^2 + 21,6^2} = 55.$$

Проверку по номинальному напряжению и прочим параметрам сводим в таблицу 32.

Таблица 32 – Выбор и проверка трансформаторов напряжения 6 кВ

Параметр проверки	Условие	Результат сравнения	примечание
трансформаторы напряжения на РП-4, РП-5 на 1 сш/2 сш			
Напряжение установки	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$	$6 \geq 6$	Условие соблюдено
класс точности k_T	$k_T \leq 0,5$	$0,5 \leq 0,5$	Условие соблюдено
Вторичная нагрузка	$S_{2Y} \leq S_{\text{ном}}$	$55 \leq 100$	Условие соблюдено

Проверку по всем условиям успешно проходят все трансформаторы напряжения.

4.5 Выбор и проверка шин 6 кВ

Требуется проверить жёсткую ошиновку применяемых КРУ в РП-4, РП-5, ПС Пионер, ТП-4, ТП-5, ТП-6 по расчётному току, термической стойкости и т.д. В КРУ принимаются однополосные алюминиевые шины прямоугольного сечения $60 \times 10 \text{ мм}^2$ марки АДО, [26].

Минимальное сечение по условию термической стойкости находится по формуле для КРУ на ПС Пионер:

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{Bk}}{C}, \quad (71)$$

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{364 \cdot 10^6}}{91} = 210 \text{ мм}^2.$$

Длина пролёта l при условии, что частота собственных колебаний будет больше 200 Гц:

$$l = \sqrt{\frac{173.2}{200}} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad (72)$$

$$l = \sqrt{\frac{173.2}{200}} \cdot \sqrt{\frac{5000}{600}} = 1,58,$$

где l - длина пролёта между осями опорных изоляторов, м;

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{60 \cdot 10^3}{12} = 5000 \text{ мм}^4 \text{ - момент инерции шины}; \quad (73)$$

где b - ширина полосы шины, принимается 60 мм;

h - толщина полосы шины, принимается 10 мм;

q - поперечное сечение шины, равное 600 мм^2 .

По полученному условию длины пролёта, для ячейки КРУ расстояние между пролётами (по вертикали) принимается 0,7 м.

Принимается расположение шин плашмя (рисунок 14).

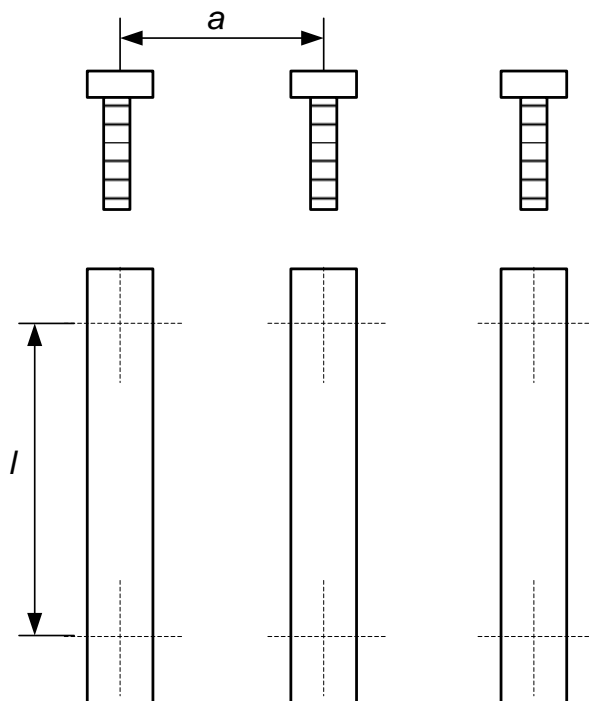


Рисунок 14 - Расположение шин в КРУ-6 кВ РП-4, РП-5

Механическое напряжение в материале шины определяется по формуле:

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}, \quad (74)$$

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{47,2^2 \cdot 0,7^2}{1,1 \cdot 0,45} = 38,2 \text{ МПа},$$

где $W = \frac{0,8^2 \cdot 10}{6} = 1,1$ - момент сопротивления шины относительно оси, пер-

пендикулярной действию усилия, см³,

a - расстояние между фазами, для выбранного КРУ равно 0,45 м ;

l - длина пролета, м.

Проверку по номинальному напряжению, расчётному току и прочим параметрам для всех КРУ сводим в таблицу 33.

Таблица 33 – Выбор и проверка жёстких шин 6 кВ

Параметр проверки	Условие	Результат сравнения	примечание
1	2	3	4
КРУ LVB-12-250-1250 на ПС Пионер			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$2000 \geq 1182$	Условие соблюдено
Минимальное сечение по условию термической стойкости	$q_{ФАКТ} \geq q_{мин}$	$600 \geq 210$	Условие соблюдено
Минимальная длина пролёта	$l_{ФАКТ} \leq l_{МИН}$	$0,7 \leq 1,58$	Условие соблюдено
Механическая прочность	$\sigma_{расч} < \sigma_{доп}$	$38,2 < 40$	Условие соблюдено
	$\sigma_{доп} \leq 0,7 \sigma_{разр}$	$38,2 < 0,7 \cdot 60$ $38,2 < 42$	Условие соблюдено
КРУ КСО-306ШВВ ТП-4, ТП-5, ТП-6 на РП-4, РП-5			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$2000 \geq 140$	Условие соблюдено
Минимальное сечение по условию термической стойкости	$q_{ФАКТ} \geq q_{мин}$	$600 \geq 208$	Условие соблюдено
Минимальная длина пролёта	$l_{ФАКТ} \leq l_{МИН}$	$0,7 \leq 1,58$	Условие соблюдено
Механическая прочность	$\sigma_{расч} < \sigma_{доп}$	$26,9 < 40$	Условие соблюдено
	$\sigma_{доп} \leq 0,7 \sigma_{разр}$	$26,9 < 0,7 \cdot 60$ $26,9 < 42$	Условие соблюдено

Продолжение таблицы 33

1	2	3	4
КРУ КМП-С на РП-4, РП-5			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$2000 \geq 214$	Условие соблюдено
Минимальное сечение по условию терм-ой стойкости	$q_{ФАКТ} \geq q_{мин}$	$600 \geq 192$	Условие соблюдено
Минимальная длина пролёта	$l_{ФАКТ} \leq l_{МИН}$	$0,7 \leq 1,58$	Условие соблюдено
Механическая прочность	$\sigma_{расч} < \sigma_{доп}$	$22,8 < 40$	Условие соблюдено
	$\sigma_{доп} \leq 0.7\sigma_{разр}$	$26,9 < 0.7 \cdot 60$ $22,8 < 42$	Условие соблюдено

По данным таблицы 33 жёсткие шины КРУ успешно проходят все условия проверки.

4.6 Выбор и проверка предохранителей 6 кВ

Трансформаторы напряжения следует защищать от коротких замыканий плавким предохранителем. Выбирается предохранитель ПКН101-10-У1, в таблице 15 указываются условия выбора и проверки. Выбор по току осуществляется для максимальной загрузки вторичных цепей трансформатора напряжения, А:

$$I_{р макс} = \frac{S_{ТН}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}},$$

$$I_{р макс} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6} = 9,6.$$

Проверку по номинальному напряжению, расчётному току и прочим параметрам сводим в таблицу 34.

Таблица 34 – Выбор и проверка предохранителей 6 кВ для защиты трансформаторов напряжения

Параметр проверки	Условие	Результат сравнения	примечание
трансформаторы напряжения на РП-4, РП-5 на 1 сш/2 сш			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительно допустимый ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$10 \geq 9,6$	Условие соблюдено
	$I_{вст} \geq I_{рmax}$	$10 \geq 9,6$	
Отключающая способность	$I_{по} \leq I_{откл ном}$	$18,72 \leq 32$	Условие соблюдено

По данным таблицы 34 предохранители 6 кВ для защиты трансформаторов напряжения успешно проходят все условия проверки.

Аналогично проводится выбор и проверка предохранителей 6 кВ в составе выключателей нагрузки для защиты трансформаторов ТП. Определяем ток на стороне ВН ТП-4:

$$I_{P\text{ ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Н}}},$$

$$I_{P\text{ ВН}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96,3 \text{ А}.$$

Выбираем номинальный тока предохранителя $I_{\text{НОМ ПР}}=160 \text{ А}$, ток вставки принимаем $I_{\text{ВСТ}}=160 \text{ А}$.

Проверку по номинальному напряжению, расчётному току и прочим параметрам сводим в таблицу 35.

Таблица 35 – Выбор и проверка предохранителей 6 кВ для защиты трансформаторов 6/0,4 кВ

Параметр проверки	Условие	Результат сравнения	примечание
трансформаторы напряжения на РП-4, РП-5 на 1 сш/2 сш			
Напряжение установки	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительно допустимый ток	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{рmax}}$	$160 \geq 96,3$	Условие соблюдено
	$I_{\text{вст}} \geq I_{\text{рmax}}$	$160 \geq 96,3$	
Отключающая способность	$I_{\text{по}} \leq I_{\text{откл ном}}$	$18,72 \leq 32$	Условие соблюдено

По данным таблицы 13 предохранители 6 кВ для защиты трансформаторов 6/0,4 кВ успешно проходят все условия проверки.

4.7 Выбор и проверка изоляторов 6 кВ

В КРУ для крепления жестких шин выбираем опорные изоляторы марки ОНШП-10-20 УХЛ1 с $F_{\text{разр}}=3000 \text{ Н}$, [30].

Допустимая нагрузка на головку изолятора для КРУ ПС Пионер:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \frac{i_{уд}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}, \quad (75)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{47200^2 \cdot 0.9}{1} \cdot 10^{-7} = 347 \text{ Н.}$$

Допустимая нагрузка на головку изолятора определяется по формуле:

$$F_{доп} = 0.6 \cdot F_{разр},$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 3000 = 1800 \text{ Н.}$$

Проверку по допустимой нагрузке и прочим параметрам для всех КРУ сводим в таблицу 36.

Таблица 36 – Выбор и проверка изоляторов 6 кВ

Параметр проверки	Условие	Результат сравнения	примечание
КРУ LVB-12-250-1250 на ПС Пионер			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Прочность изолятора	$F_{доп} \geq F_{расч}$	$1800 \geq 347$	Условие соблюдено
КРУ КСО-306ШВВ ТП-4, ТП-5, ТП-6 на РП-4, РП-5			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Прочность изолятора	$F_{доп} \geq F_{расч}$	$1800 \geq 244$	Условие соблюдено
КРУ КМП-С на РП-4, РП-5			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Прочность изолятора	$F_{доп} \geq F_{расч}$	$1800 \geq 208$	Условие соблюдено

По данным таблицы 12 изоляторы КРУ успешно проходят все условия проверки.

4.8 Выбор и проверка ограничителей перенапряжений 6 кВ

На РП и ТП приняты ОПН марки ОПН-П-6/6,9 УХЛ2 с классом напряжения 6 кВ, для которых $U_{ост} = 43 \text{ кВ}$, $U = 60 \text{ кВ}$.

Энергия поглощения определяется по формуле, [27], кДж:

$$\mathcal{E} = \frac{U - U_{ост}}{z} \cdot U_{ост} \cdot 2 \cdot T \cdot n, \quad (76)$$

$$\mathcal{E} = \frac{60 - 43}{485} \cdot 100 \cdot 2 \cdot 7,94 \cdot 10^{-6} \cdot 20 = 11 \text{ кВт.}$$

где U - величина перенапряжения, которая находится в процентном соотношении от пятидесятипроцентного напряжения, по графику принимается равной 60 кВ в соответствии с [15].

$U_{ост}$ - остаточное напряжение, по графику принимается 43 кВ в соответствии с каталожными данными;

z - волновое сопротивление кабеля, по справочным данным 485 Ом [10];

n - количество токовых импульсов, подаваемых без перерыва, 20 шт;

T - время распространения волны:

$$T = \frac{l}{v}, \quad (77)$$

где l и v - длина защищенного подхода и скорость распространения волны соответственно.

$$T = \frac{2500}{3,15 \cdot 10^8} \cdot 10^6 = 7,94 \text{ мкс;}$$

Далее определяется удельная энергоёмкость ОПН, кДж/кВ:

$$\mathcal{E}^* = \frac{\mathcal{E}}{U_{номОПН}}, \quad (78)$$

$$\mathcal{E}^* = \frac{11,3}{6} = 1,9.$$

Проверку для всех ОПН сводим в таблицу 37.

Таблица 37 – Выбор и проверка ОПН 6 кВ

Параметр проверки	Условие	Результат сравнения	примечание
Напряжение установки	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$	$6 \geq 6$	Условие соблюдено
Номинальная энергоемкость	$\mathcal{E}_{\text{ном}} \geq \mathcal{E}^*$	$2,3 \geq 1,9$	Условие соблюдено

По данным таблицы 12 ОПН успешно проходят все условия проверки.

4.9 Выбор и проверка выключателей нагрузки 6 кВ

На всех ТП трансформатор 6/0,4 кВ защищается автогазовым выключателем нагрузки ВНАП - 10/630-20-У2. Проверку по термической стойкости проведем для выключателя нагрузки на ТП-4 по формуле:

$$B_{\text{кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}},$$

$$B_{\text{кном}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}.$$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{пок}2}^{(3)2} \cdot (t_{\text{ов}} + \Delta t_{\text{сел}}),$$

$$B_{\text{к}} = 15,25^2 \cdot (0,04 + 1) = 242 \text{ кА}^2\text{с},$$

где $t_{\text{ов}}$ – собственное время отключения выключателя, принимается

$$t_{\text{рз}} + t_{\text{отк}} = 0,04 \text{ с};$$

$\Delta t_{\text{сел}}$ - степень селективности РЗ, принимается 1 с.

Проверку по номинальному напряжению, расчётному току и прочим параметрам сводим в таблицу 38.

Таблица 38 – Выбор и проверка выключателей нагрузки 6 кВ

Параметр проверки	Условие	Результат сравнения	примечание
выключатели ТП-4, ТП-5, ТП-6 на РП-4, РП-5 ВНАП-10/630-20-У2			
Напряжение установки	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$	$10 \geq 6$	Условие соблюдено
Длительный ток	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$	$630 \geq 140$	Условие соблюдено
Динамическая стойкость	$i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$	$50 \geq 39,6$	Условие соблюдено
Термическая устойчивость	$B_{\text{к.ном}} \geq B_{\text{к}}$	$1200 \geq 242$	Условие соблюдено

Проверку по всем условиям успешно проходят все выключатели нагрузки

4.10 Выбор и проверка трансформаторов собственных нужд

В здании РП-4 и РП-5 предусматривается установка трансформаторов собственных нужд с литой изоляцией типа ТЛС 6/0,4 кВ для питания осветительной нагрузки, обогрева приводов выключателей, помещения, питания шкафов измерения, контроля, блоков защит.

В РУ 6 кВ РП-4, РП-5 предусматривается ячейка для ТСН, целесообразно расположить ТСН с литой изоляцией на выкатной тележке совместно с предохранителем 10 кВ.

Требуется сформировать перечень электроприемников собственных нужд с указанием коэффициентов спроса и нагрузки в зимний и летний период, таблица 39.

Таблица 39 – Нагрузка трансформатора собственных нужд

Наименование потребителей	Рл, кВт	Qл, кВАр	Кс	Sl, кВА	Рз, кВт	Qз, кВАр	Кс	Sз, кВА
Оперативные цепи	1	0	1	1,0	1	0	1	1,0
Электродвигатели компрессоров	5	3,1	0,4	2,4	5	3,1	0,4	2,4
Освещение РП 6 кВ	1,9	0	0,6	1,1	1,9	0	0,7	1,3
Электроотопление РП 6 кВ	0	0	1	0,0	20	0	1	20,0
Электроподогрев аппаратуры и шкафов высокого напряжения	0	0	1	0,0	6,5	0	1	6,5
Вентиляция РП 6 кВ	0,37	0	0,4	0,1	0,37	0	0,4	0,1
Связь и телемеханика	1	0	1	1,0	1	0	1	1,0
Электродвигатели насосов пожаротушения	5	3,1	0,4	2,4	5	3,1	0,4	2,4
Грузоподъемные устройства	5	0	0	0,0	0	0	0	0,0
Итого	7,3	2,5	1	7,7	34,0	2,5	1	34,1

На примере электродвигателей компрессоров определим нагрузку одного из потребителей собственных нужд для летнего периода:

$$Sл = \sqrt{Pл^2 + Qл^2} \cdot Kс ;$$

$$S_{л} = \sqrt{5^2 + 3,1^2} \cdot 0,4 = 2,4 \text{ кВА.}$$

Аналогично определяется нагрузка всех потребителей собственных нужд.

Предусматривается установка двух трансформаторов собственных нужд, работающих в режиме неявного резервирования. Выбирается мощность ТСН в РП на каждую секцию шин по выражению:

$$S_T \geq S_{расч.} ,$$

$$40 \geq 34,1 \text{ кВА.}$$

Ближайший типоразмер по наибольшей нагрузке потребления – ТЛС-40/6.

Для трансформаторов с литой изоляцией допустимая перегрузка с учётом закрытого расположения трансформатора в ячейке КРУ допустимый коэффициент перегрузки $K = 1,15-1,20$. В этом случае расчётная мощность ТСН определяется по выражению:

$$S_T \geq \frac{\sqrt{P_{ТСН}^2 + Q_{ТСН}^2}}{N \cdot K_3} ,$$

$$S_T \geq \frac{\sqrt{34^2 + 2,5^2}}{1 \cdot 1,2} = 28,4 \text{ кВА,}$$

$$40 \geq 28,4 \text{ кВА.}$$

Выбранный ранее трансформатор ТЛС-40/6 проверку проходит.

5 РЕЖИМЫ НЕЙТРАЛЕЙ СЕТЕЙ

Для распределительной сети 6 кВ системы внутреннего электроснабжения ГТМК Пионер возможны режимы работы, при которых нарушается изоляция одной фазы в какой-либо точке сети, в таком случае повреждение фазы сети с изолированной от земли нейтралью, приводит к однофазному замыканию на землю. Напряжение этой фазы относительно земли в таком случае приравнивается к нулю, напряжение остальных фаз относительно земли - междуфазному напряжению, а зарядные токи этих двух фаз увеличиваются в $\sqrt{3}$ раз.

Ток замыкания на землю сравнительно небольшой по величине в сравнении с нагрузочным током сети или ее отдельных линий и может вызывать заметную перегрузку только при очень малых сечениях предварительно нагруженных проводников поврежденной линии. Режимы работы электроприемников и система междуфазных напряжений при замыкании на землю практически не изменены, поэтому в сетях с изолированной нейтралью 6 кВ замыкание на землю не считается аварийным режимом, а неполнофазным режимом работы. В таком неполнофазном режиме сеть и поврежденная линия могут оставаться в работе в течении определенного времени продолжать работу. Электроснабжение потребителей не прекращается. 75-85% из всего количества нарушений изоляции приходится на однофазные замыкания на землю, поэтому такие режимы работы требуется предусмотреть для обеспечения надежности питания потребителей.

Ток I_c можно определить по формуле для кабельных линий напряжением 6 кВ:

$$I_c = \frac{U \cdot l \cdot n}{10}, \quad (79)$$

$$I_c = \frac{6 \cdot 1,6 \cdot 2}{10} = 1,92 \text{ А},$$

где l - длина электрически связанной сети напряжением 6 кВ, 1,6 км;

U - междуфазное напряжение, 6 кВ;

n - число линий на одной секции шин.

Для сети 6 кВ допустимое значение по ПУЭ составляет 30 А, так как $1,92$
 $A < 30 A$, то мероприятий по сокращению данного тока не предусматривается.

6 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Релейную защиту кабельных линий 10 кВ выполняем на базе «Сириус-2-Л» (в дальнейшем – устройство) производитель ЗАО «РАДИУС Автоматика» Данное микропроцессорное устройство защиты, предназначено для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации присоединений напряжением 6–35 кВ.

Устройство предназначено для установки в релейных отсеках КРУ, КРУН и КСО, на панелях и в шкафах в релейных залах и пультах управления электростанций и подстанций 6–35 кВ. Устройство предназначено для защиты воздушных и кабельных линий, а также трансформаторов, преобразовательных агрегатов и т.д. Устройство «Сириус-2-Л» является комбинированным микропроцессорным терминалом релейной защиты и автоматики.

Применение в устройстве модульной мультипроцессорной архитектуры наряду с современными технологиями поверхностного монтажа обеспечивают высокую надежность, большую вычислительную мощность и быстродействие.

Для примера рассчитаем защиту линии РП4-ТП4. Используем ход расчёта подробно описанный в [18].

Коэффициент трансформации трансформатора тока:

$$n_r = \frac{I_{ТВН}}{I_{ТТН}}$$

$$n_r = \frac{200}{5} = 40 .$$

6.1 Токовая отсечка без выдержки времени

Первичный ток срабатывания токовой отсечки находится по формуле:

$$I_{c.o} = K_n \cdot I_{КЗ}^{(3)} . \tag{80}$$

$$I_{c.o} = 1,1 \cdot 15,25 = 16,78 \text{ кА},$$

где K_n – коэффициент надежности, $K_n = 1,1-1,2$;

$I_{K3}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на стороне ВН ТП-4, кА.

Чувствительность защиты находится по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K3}^{(2)}}{I_{c.з.}} \leq 2, \quad (81)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{13,27}{16,78} = 0,79,$$

где $I_{K3}^{(2)}$ – ток двухфазного КЗ в конце основной зоны защиты.

Полученная чувствительность токовой отсечки при выдержке времени 0 сек меньше 2, поэтому в дальнейшем имеет смысл провести установку отсечки с выдержкой времени в качестве второй ступени защиты.

Вторичный ток срабатывания ТО находится по формуле:

$$I_{c.p.} = k_{\text{сх}} \frac{I_{c.з.}}{n_T}, \quad (82)$$

$$I_{c.p.} = 1 \cdot \frac{7927}{40} = 198 \text{ А}.$$

Для остальных линий результаты расчёта защиты сведём в таблицу 40.

Таблица 40 – Расчёт токовой отсечки кабельных линий 6 кВ

Линия	$I_{(3)по}$, кА	$I_{(2)по}$, кА	I_p , А	$I_{н\text{ тт}}$, А	$I_{c.з.}$ кА	n_T	$I_{c.p.}$ А	$K_{\text{ч}}$
РП4-ТП4	15,25	13,27	140	200	16,78	40	419	0,79
РП4-ТП5	15,25	13,27	140	200	16,78	40	419	0,79
РП5-ТП6	15,25	13,27	140	200	16,78	40	419	0,79
ПС-РП5	15,25	13,27	140	200	16,78	40	419	0,79
ПС-РП4 4 кабеля на 1 цепь	18,72	16,29	1182	1500	20,59	300	69	0,79

Выдержка времени принимается $t_{с.з.} \approx 0 с$.

6.2 Максимальная токовая защита линий

Ток срабатывания защиты находится по формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot K_{сз}}{K_v} \cdot I_{макс}, \quad (83)$$

$$I_{с.з.} = \frac{1,1 \cdot 1}{0,9} \cdot 0,152 = 0,176 \text{ кА.}$$

где K_n – коэффициент надежности, 1,1, [18];

$K_{сз}$ – коэффициент запуска двигателей, 1, [18];

K_v – коэффициент возврата, 0,95, [18];

$I_{макс}$ – максимальный рабочий ток защищаемой линии, А.

Ток срабатывания находится по формуле:

$$I_{с.р.} = \frac{K_{сх}}{n_{та}} \cdot I_{с.з.}, \quad (84)$$

$$I_{с.р.} = \frac{1}{40} \cdot 0,176 = 4,$$

где $K_{сх}$ – коэффициент схемы, $k_{сх} = 1$, [18];

Чувствительность защиты находится по формуле:

$$K_{\chi} = \frac{I_{КЗ}^{(2)}}{I_{с.з.} \cdot n_{та}} \geq 1,5, \quad (85)$$

$$K_{\chi} = \frac{13,27}{0,176 \cdot 40} = 1,9.$$

Чувствительность более 1,5, требование удовлетворено.

Выдержка времени МТЗ определяется с учетом времени срабатывания реле и ступени селективности $\Delta t = 0,5$ с. Таким образом время срабатывания защиты находится по формуле::

$$t_{с.з.} = t_{р.з.} + \Delta t + t_{ОТСЕЧКИ.}, \quad (86)$$

$$t_{с.з.} = 0,1 + 0,5 + 0 = 0,6 \text{ с,}$$

где $t_{ОТСЕЧКИ.}$ – время срабатывания токовой отсечки с выдержкой времени.

Для остальных линий результаты расчёта релейной защиты сведём в таблицу 41.

Таблица 41 – Расчёт МТЗ

Линия	$I_{(3)по}, \text{ кА}$	$I_{(2)по}, \text{ кА}$	$I_p, \text{ А}$	$I_{Н ГТ}, \text{ А}$	$I_{с.з.}, \text{ кА}$	$I_{с.р.}, \text{ А}$	$K_{ч}$
РП4-ТП4	15,25	13,27	140	200	0,176	4	1,9
РП4-ТП5	15,25	13,27	140	200	0,176	4	1,9
РП5-ТП6	15,25	13,27	140	200	0,176	4	1,9
ПС-РП5	15,25	13,27	140	200	0,176	4	1,9
ПС-РП4 4 кабеля на 1 цепь	18,72	16,29	1182	1500	1,570	5	10,37

6.3 Защита от однофазных замыканий на землю

В сетях 6 кВ такая защита выполняется в виде: селективной токовой защиты, действующей на сигнал; селективной токовой защиты, действующей на отключение, если это необходимо по требованиям безопасности; устройства контроля изоляции.

Ток срабатывания защиты определяется по заданному коэффициенту чувствительности, который для ВЛ равен 1,5 по выражению:

$$I_{с.з.} = \frac{I_{тнп\ повр}}{K_{\epsilon}},$$

$$I_{с.з.} = \frac{1,85}{1,5} = 1,23,$$

где $I_{тнп\ повр}$ – ток, протекающий через трансформатор тока нулевой последовательности, в сетях с изолированной нейтралью определяется по формуле:

$$I_{тнп\ повр} = I_c - I_{повр}, \quad (87)$$

$$I_{тнп\ повр} = 1,93 - 0,08 = 1,85 \text{ А},$$

где I_c – суммарный емкостной ток сети, 1,93 А.

$I_{повр}$ – ток замыкания на землю линии на которую установлена защита.

Ток замыкания на землю линии РП4 –ТП4 равен:

$$I_{повр} = \frac{6 \cdot 0,07 \cdot 2}{10} = 0,08 \text{ А}.$$

Для остальных линий результаты расчёта ЗНЗ сведём в таблицу 42.

Таблица 42 – Расчёт ЗНЗ

Линия	$I_{повр.л}$, А	$I_{тнп.повр}$, А	$I_{с.з.}$, А
РП4-ТП4	0,08	1,85	1,23
РП4-ТП5	0,08	1,85	1,23
РП5-ТП6	0,08	1,85	1,23
ПС-РП5	0,08	1,85	1,23
ПС-РП4 4 кабеля на 1 цепь	0,45	1,48	0,99

6.4 Устройства автоматического включения резерва

Устройства автоматического включения резерва (АВР) быстро восстанавливают электроснабжение потребителей при отключении рабочего источника питания.

Напряжение срабатывания пусковых реле находится по формуле:

$$U_{сз} = (0,25 - 0,4) \cdot U_n, \quad (88)$$

$$U_{сз} = 0,4 \cdot 6000 = 240 \text{ В.}$$

Выдержка времени АВР:

$$t_{\text{АВР}} = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ с.}$$

Выдержка отстроена от наибольшего времени срабатывания защит отходящих от шин присоединений (от МТЗ). Выдержка времени АВР выбрана таким образом, чтобы обеспечить недействие устройства при кратковременном исчезновении или снижении напряжения на резервируемом элементе из-за возникновения КЗ в сети, до отключения этих повреждений, [19].

6.5 Токовая отсечка для электродвигателей 6 кВ

Рассчитывается защита СД 1,6 МВт привода мельницы.

Ток срабатывания отсечки $I_{с.о}$ отстраивается от пускового тока $I_{пус}$ электродвигателя:

$$I_{с.о} = K_n \cdot 1,8 \cdot I_{пус}, \quad (89)$$

где K_n – коэффициент надежности, $K_n = 1,1 - 1,2$;

1,8 – коэффициент, учитывающий действие апериодической составляющей тока при пуске.

$$I_{ном} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi}, \quad (90)$$

$$I_{ном} = \frac{1600}{1,73 \cdot 0,9} = 171 \text{ A}$$

Пусковой ток определится по формуле:

$$I_{пус} = K_i \cdot I_{ном}, \quad (91)$$

где K_i - кратность пускового тока, $K_i = 5$;

$$I_{пус} = 5 \cdot 171 = 856 \text{ A} .$$

Ток срабатывания отсечки:

$$I_{с.о.} = 1,1 \cdot 1,8 \cdot 856 = 1695 \text{ A} .$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{K_{сх}}{n_{та}} \cdot I_{с.о.} \quad (92)$$

где $K_{сх}$ – коэффициент схемы, для случая соединения обмоток трансформаторов тока по схеме полная и неполная звезда $K_{сх} = 1$;

$n_{та}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

$$n_{та} = 200/5 = 40.$$

$$I_{c.p.} = \frac{1}{40} \cdot 1695 = 42 A$$

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{c.o.}} \geq 2 \quad (93)$$

где $I_{\text{к}}^{(2)}$ – ток двухфазного КЗ:

$$K_{\text{ч}} = \frac{12230}{1695} = 7,2.$$

Чувствительность удовлетворяет условию $K_{\text{ч}} \geq 2$.

6.6 Максимальная токовая защита для электродвигателей 6 кВ

Ток срабатывания защиты:

$$I_{c.z.} = \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{ном}} \quad (94)$$

где $K_{\text{н}}$ – коэффициент надёжности, для защит действующих на отключение, $K_{\text{н}} = 1,1$;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, для микропроцессорных реле, $K_{\text{в}} = 0,98$;

$$I_{c.z.} = \frac{1,1}{0,98} \cdot 171 = 192 A$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{c.p.} = \frac{K_{\text{сх}}}{n_{\text{та}}} \cdot I_{c.z.};$$

где- K_{cx} – коэффициент схемы, для нашей схемы соединения обмоток трансформаторов тока, $K_{cx} = \sqrt{3}$;

$n_{та}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока, $n_{та} = 40$.

$$I_{с.р.} = \frac{\sqrt{3}}{40} \cdot 192 = 8,3A$$

Кратность отсечки, определится по формуле:

$$K = \frac{I_{с.р.(ТО)}}{I_{с.р.(МТЗ)}} \geq 1,5$$

$$K = \frac{12230}{192} = 64 \geq 1,5.$$

Чувствительность удовлетворяет условию $K_q \geq 1,5$.

Для СД мощностью 2 МВт расчёт токовой отсечки и максимальной токовой защиты ведется аналогично, результаты расчётов показаны в таблице 43.

Таблица 43 – Токовая отсечка и максимальная токовая защита СД 1,6 и 2 МВт

Тип СД	$I_{(3)по},$ кА	$I_{(2)по},$ кА	$I_p,$ А	I_H тг, А	$I_{с.з.}$ кА	$n_{та}$	$I_{с.р.}$ А	Кч то	$I_{с.з.}$ кА	$I_{с.р.}$ А	Кч мтз
Токовая отсечка									максимальная токовая защита		
СД 1,6 МВт	14,06	12,23	171	200	1695,6	40	42	7,21	192	8,314	64
СД 2 МВт	13,38	11,64	214	250	2119,5	50	42	5,49	240	8,314	48

Чувствительность всех типов защит СД удовлетворяет условиям.

7 ЗАГРУЗКА ПОДСТАНЦИИ ПИОНЕР С УЧЁТОМ РАЗВИТИЯ

На основании проведенных расчётов перспективной нагрузки ГГМК Пионер в виде вводимых блоков измельчения была определена величина подключаемой нагрузки к ПС Пионер 110/35/6. Для выбранного варианта развития сети 6 кВ в перспективе до 2025 года были получены расчётные данные:

- РП-4 – 10956+i5515 кВА;
- РП-5 – 6445+i3244 кВА.

На ПС Пионер после проведенной модернизации оборудования были заменены силовые трансформаторы на марку ТДТН 40000/110/35/6 Т1 и Т2. Для РП-4 и РП-5 компенсация реактивной мощности не предусматривается, ввиду того, что РП представляют собой секционирующие пункты для питающих сетей внутреннего электроснабжения ГГМК Пионер, поэтому компенсация реактивной мощности на шинах 6 кВ РП не даст требуемого эффекта. Кроме того, связь с энергосистемой РП-4 и РП-5 нет, центр питания ПС Пионер подключена к энергосистеме и имеет границу подключения на стороне ВН 110 кВ, поэтому целесообразно проводить компенсацию на шинах 6 кВ ПС Пионер.

7.1 Компенсация реактивной мощности на подстанции Пионер

Вопрос компенсации реактивной мощности прорабатывается через величину существующей и перспективной нагрузки на ПС Пионер.

Текущая нагрузка ПС Пионер определена на основе замерных данных зимы 2020 года (дата замера 16 декабря 2020 года), полученных по результатам прохождения преддипломной практики, дополнительно учитывается перспективная нагрузка вводимых блоков измельчения:

$$P_{\text{максТ1}} = P_{\text{максТ1 6 кВ}} + P_{\text{максТ1 35 кВ}} + P_{\text{перспТ1 6 кВ}},$$

$$P_{\text{максТ1}} = 11800 + 5620 + 8700 = 26121 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{максТ1}} = Q_{\text{максТ1 6 кВ}} + Q_{\text{максТ1 35 кВ}} + Q_{\text{перспТ1 6 кВ}},$$

$$Q_{\text{макс}T1}=6197+2430+4380=13007 \text{ кВар},$$

$$P_{\text{макс}T2}=P_{\text{макс}T2 \text{ 6 кВ}} + P_{\text{макс}T2 \text{ 35 кВ}} + P_{\text{персп}T2 \text{ 6 кВ}},$$

$$P_{\text{макс}T2}=13700 + 0+8700=22401 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{макс}T2}=Q_{\text{макс}T2 \text{ 6 кВ}} + Q_{\text{макс}T2 \text{ 35 кВ}} + Q_{\text{персп}T2 \text{ 6 кВ}},$$

$$Q_{\text{макс}T2}=6237+0+4380=10617 \text{ кВар},$$

где $P_{\text{макс}T1 \text{ 6 кВ}}$ – активная нагрузка 6 кВ трансформатора Т-1 ПС Пионер, кВт;

$P_{\text{макс}T1 \text{ 35 кВ}}$ – активная нагрузка 35 кВ трансформатора Т-1 ПС Пионер, кВт;

$P_{\text{макс}T2 \text{ 6 кВ}}$ – активная нагрузка 6 кВ трансформатора Т-2 ПС Пионер, кВт;

$P_{\text{макс}T2 \text{ 35 кВ}}$ – активная нагрузка 35 кВ трансформатора Т-2 ПС Пионер, кВт.

$Q_{\text{макс}T1 \text{ 6 кВ}}$ – реактивная нагрузка 6 кВ трансформатора Т-1 ПС Пионер, кВар;

$Q_{\text{макс}T1 \text{ 35 кВ}}$ – реактивная нагрузка 35 кВ трансформатора Т-1 ПС Пионер, кВар;

$Q_{\text{макс}T2 \text{ 6 кВ}}$ – реактивная нагрузка 6 кВ трансформатора Т-2 ПС Пионер, кВар;

$Q_{\text{макс}T2 \text{ 35 кВ}}$ – реактивная нагрузка 35 кВ трансформатора Т-2 ПС Пионер, кВар;

$P_{\text{персп}T1 \text{ 6 кВ}}, P_{\text{персп}T2 \text{ 6 кВ}}$ – перспективная активная нагрузка 6 кВ трансформатора Т-1 ПС Пионер, общая нагрузка РП-4 и РП-5 17401 кВт распределенная равными частями по 8700 кВт на Т1 и Т2;

$Q_{перснТ1\ 6\ кВ}$, $Q_{перснТ2\ 6\ кВ}$ – перспективная реактивная нагрузка 6 кВ трансформатора Т-1 ПС Пионер, общая нагрузка РП-4 и РП-5 8760 кВар распределенная равными частями по 4380 кВар на Т1 и Т2.

Требуемая мощность компенсирующих устройств ПС Пионер:

$$Q_{KV\ треб} = Q_{максТ1} + Q_{максТ2} - (P_{максТ1} + P_{максТ2}) \cdot tg\varphi_{ПД}; \quad (95)$$

$$Q_{KV\ треб} = 13007 + 10617 - (26121 + 22401) \cdot 0,4 = 4215 \text{ кВар.}$$

где $tg\varphi_{ПД}$ - предельно допустимый коэффициент мощности, принимаемый 0,4 по [5];

На шинах ПС Пионер устанавливаем 4 батареи конденсаторов УКЛ – 10 – 900У3 настроенные на 900 квар и 2 батареи конденсаторов УКЛ – 10 – 300У3 настроенные на 300 квар, [3], тогда:

$$Q_{KV\ факт} = 900 \cdot 4 + 300 \cdot 2 = 4200 \text{ кВар.}$$

Нескомпенсированная реактивная мощность для ПС Пионер определяется по формуле:

$$Q_{НЕСК} = Q_{максТ1} + Q_{максТ2} - Q_{KV\ факт}; \quad (96)$$

$$Q_{НЕСК} = 13007 + 10617 - 4200 = 19424 \text{ кВар.}$$

7.2 Проверка загрузки силовых трансформаторов на подстанции Пионер

Загрузка трансформаторов ПС Пионер рассчитывается по следующей формуле для Т-1 и Т-2 в нормальном режиме:

$$K_{3 T1}^{норм} = \frac{\sqrt{P_{максT1}^2 + (Q_{максT1} - Q_{KV факт T1})^2}}{S_{ном T1}}, \quad (97)$$

$$K_{3 T1}^{норм} = \frac{\sqrt{26121^2 + (13007 - 2100)^2}}{40000} = 0,73, \text{ не более } 0,75,$$

$$K_{3 T2}^{норм} = \frac{\sqrt{P_{максT2}^2 + (Q_{максT2} - Q_{KV факт T2})^2}}{S_{ном T2}},$$

$$K_{3 T2}^{норм} = \frac{\sqrt{22401^2 + (10617 - 2100)^2}}{40000} = 0,62, \text{ не более } 0,75.$$

Загрузка наиболее нагруженного трансформатора Т-1 в режиме отключения Т-2:

$$K_{3 T1}^{ав} = \frac{\sqrt{(P_{максT1} + P_{максT2})^2 + (Q_{максT1} + Q_{максT2} - Q_{KV факт T1} - Q_{KV факт T2})^2}}{S_{ном T1}}, \quad (98)$$

$$K_{3 T1}^{ав} = \frac{\sqrt{(26121 + 22401)^2 + (13007 + 10617 - 2100 - 2100)^2}}{40000} = 1,31, \text{ менее } 1,4.$$

По результатам расчётов делается вывод о достаточности существующего резерва мощности силовых трансформаторов на ПС Пионер для развития системы внутреннего электроснабжения 6 кВ ГГМК Пионер на срок до 2025 года включительно. В дальнейшем при сохранении тенденции на ввод нового оборудования следует предусмотреть установку силовых трансформаторов 110/35/6 кВ большей мощности, в случае снижения темпов развития и ввода нового оборудования расчёт загрузки трансформаторов следует производить по факту замеряемой нагрузки в контрольный день.

8 ЗАЗЕМЛЕНИЕ И МОЛНИЕЗАЩИТА

8.1 Устройство молниезащиты

Проектируемые сооружения РП-4, РП-5, ТП-4, ТП-5, ТП-6 по устройству молниезащиты относятся к III категории, и должны быть защищены от прямых ударов молнии и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) металлические коммуникации. Защита зданий от прямых ударов молнии осуществляется путем присоединения металлической кровли, используемой в качестве молниеприемника, через металлические колонны, используемые в качестве токоотводов с заземляющим устройством.

Защита от заноса высокого потенциала по коммуникациям осуществляется присоединением их на вводе в здание к заземляющему устройству проводниками основной системы уравнивания потенциалов. Переходное сопротивление болтового соединения токоотвода с металлической кровлей должно быть не более 0,05 Ом при обязательном ежегодном контроле перед началом грозового сезона.

8.2 Устройство заземления

В сооружениях РП-4, РП-5, ТП-4, ТП-5, ТП-6 принята система заземления TN-S. Все доступные прикосновению открытые проводящие части электроустановок должны быть присоединены к заземленной нейтральной точке источника питания посредством защитных проводников. В качестве защитных РЕ-проводников используются специально предусмотренные жилы кабелей.

В электроустановках РП-4, РП-5, ТП-4, ТП-5, ТП-6 необходимо выполнить основную и дополнительные системы уравнивания потенциалов.

В качестве главных заземляющих шин (ГЗШ) используются ящики типа ГЗШ-4-10.

В качестве заземляющего проводника применяется медный провод 25 мм² проложенный от главной заземляющей шины до выводов заземлителей.

Для проводников системы уравнивания потенциалов использовать открытые и сторонние проводящие части, указанные в 1.7.121, ПУЭ, или специально

проложенные проводники, или их сочетание Сечение проводников должно быть не менее указанных в п 1.7.137 и п1.7.138, ПУЭ.

Заземляющее устройство принято общим для защиты от прямых ударов молнии и заземлителем электроустановки.

Функцию заземлителей выполняют металлическая арматура фундаментов, стен подземного склада и дополнительно прокладываемый наружный контур заземления. Сопротивление заземляющих устройств согласно п 1.7.61 ПУЭ не нормируется.

Подробно рассматривается устройство РП-4 и ТП-4. Для ТП-5, ТП-6 и РП-5 устройство заземления выполняется аналогично.

Зеземление РП-4 и ТП-4 осуществляется путем присоединения к общему заземляющему устройству нейтрали трансформатора на стороне 0,4кВ, его корпуса, открытых и сторонних проводящих частей электроустановок 6/0,4кВ, металлических оболочек и брони кабелей напряжением 6/0,4 кВ.

В качестве общего заземляющего устройства (ОЗУ) используется фундаментная конструкция блок-модуля, включающая в себя сваи (трубы стальные электросварные) и горизонтальные балки. Сваи заглублены в грунт на 4м.

Вокруг площадки, занимаемой ТП-4 и РП-4, на глубине 0,7м и на расстоянии не более 1м от края фундамента необходимо проложить замкнутый контур из полосы 40х5 и присоединить его к ОЗУ при помощи сварки; при этом места свар. их соединений необходимо предварительно обработать Также нужно вбить вертикальные электроды, уголок 50х50х5, присоединив их сваркой к контуру.

Заземление электрооборудования внутри модулей предусмотрено заводом- изготовителем (с отдельными узлами заземления к каждому оборудованию). Необходимо произвести металлическое соединение общего контура заземления модульных зданий со строительными конструкциями и внешним контуром заземления.

Рассчитаем заземляющее устройство РП-4. Заземляющее устройство представляет собой систему из вертикальных и горизонтальных электродов диаметром 20 мм, соединённых между собой сваркой.

Определяем стационарное сопротивление одного вертикального электрода:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (99)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{150}{\pi \cdot 2 \cdot 3} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot 3 \cdot (2 \cdot 0,7 + 3)}{0,02 \cdot (4 \cdot 0,7 + 3)} \right] = 49 \text{ Ом},$$

где l_B - длина вертикального электрода, 3 м;

h_3 - глубина заложения заземлителя, 0,7 м;

$\rho_{\text{грунт}}$ - удельное сопротивление грунта, для грунта в месте проектирования принимается 150 Ом·м;

d - диаметр электродов, 0,02 м.

Определяем стационарное сопротивление одного горизонтального электрода:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (100)$$

$$R_{ЭГ} = \frac{150}{\pi \cdot 3} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot 3}{\sqrt{2 \cdot 0,02 \cdot 0,7}} \right] = 16 \text{ Ом},$$

где l – длина горизонтальной полосы, 6 м.

Общее стационарное сопротивление заземлителя:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_B \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_G \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (101)$$

$$R = \frac{49 \cdot 16}{0,75 \cdot (4 \cdot 49 + 4 \cdot 16)} = 4 \text{ Ом},$$

где $\eta = 0,75$ - коэффициент использования сложного заземлителя, учитывающий ухудшение растекания тока молнии из-за взаимного экранирования;

n_B - число вертикальных электродов;

n_G - число горизонтальных электродов;

Импульсное сопротивление вертикального электрода:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_B}, \quad (102)$$

$$R_{uB} = \frac{1 \cdot 49}{0,75 \cdot 4} = 16 \text{ Ом},$$

где $\alpha_{uB} = 1$ - импульсный коэффициент вертикального электрода.

Удельная индуктивность на единицу длины горизонтального заземлителя:

$$L_0 = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (103)$$

$$L_0 = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{3}{0,01} - 0,31 \right) = 1,22 \text{ мкГн/м},$$

Импульсный коэффициент протяженного заземлителя:

$$\alpha_{uG} = 1 + \frac{L_0 \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{\text{ЭГ}}}, \quad (104)$$

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{1,22 \cdot 3}{3 \cdot 2 \cdot 16} = 1,08,$$

где $\tau_{\phi} = 2$ мкс - длительность фронта тока молнии.

Импульсное сопротивление протяжного электрода:

$$R_{u\Gamma} = \alpha_u \cdot R_{\text{э}\Gamma}, \quad (105)$$

$$R_{u\Gamma} = 1,08 \cdot 16 = 17 \text{ Ом}.$$

Общее импульсное сопротивление заземлителя:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_{\Gamma} \cdot R_{uB})}, \quad (106)$$

$$R_u = \frac{17 \cdot 16}{0,75 \cdot (4 \cdot 17 + 4 \cdot 16)} = 2,8 \text{ Ом}.$$

Устройство заземлителя РП-4 показано на рисунке 15.

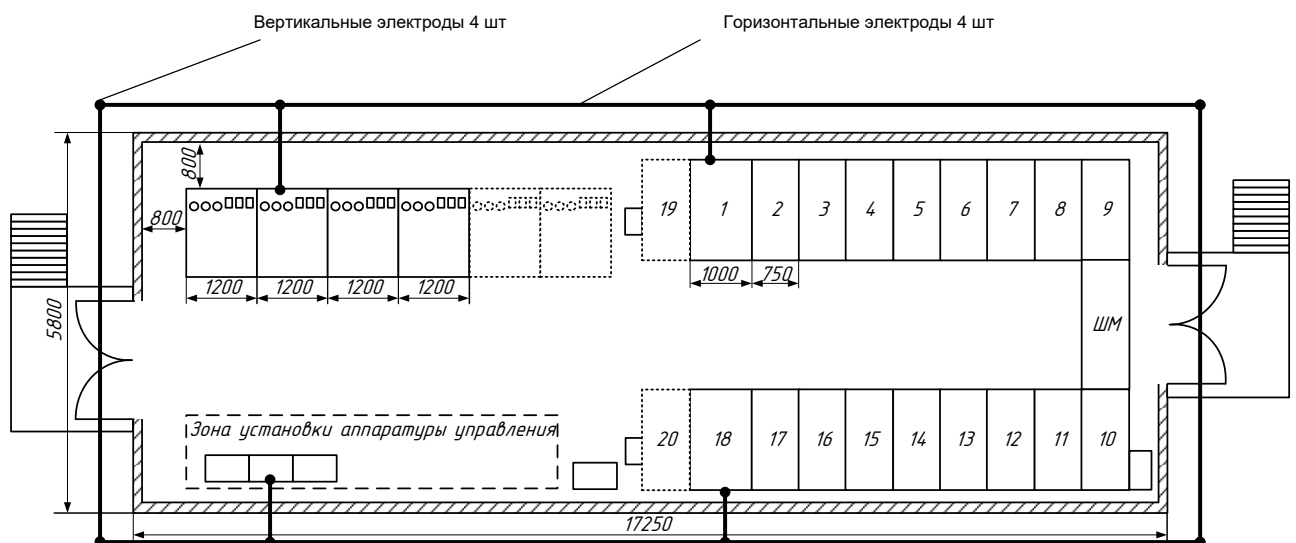


Рисунок 15 – Общий вид устройства заземлителя РП-4

В результате расчётов получено стационарное сопротивление заземлителя 4 Ом, при величине менее 4 Ом обеспечивается электробезопасность. Общее импульсное сопротивление заземлителя меньше 9 Ом, чем обеспечивается стекание тока молнии. Таким образом, заземлитель обеспечивает молниезащиту и защиту от поражения током при прикосновении к токоведущим частям.

9 РАСЧЁТ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 6 КВ

В данном пункте необходимо количественно оценить время восстановления системы, ущерб от недоотпуска и расчётное время работы системы (лет) в случае отказа совокупности элементов схемы замещения. Зная из справочных данных каталожные статистические величины параметра потока отказа, среднее время восстановления, частоту ремонтов и их продолжительность находятся вероятности отказа элементов системы. Далее последовательно соединенные элементы объединяются в цепочки относительно секционного выключателя на ПС Пионер.

Весь расчёт выполняется в соответствии с вероятностным методом.

На рисунке 16 отображена схема внутреннего электроснабжения 6 кВ, надёжность которой требуется оценить. В схему замещения включены выключатели 6 кВ, секции шин 6 кВ, кабельные линии 6 кВ, трансформаторы 6/0,4 кВ, синхронные двигатели 6 кВ, ячейки КНР управления электродвигателями учтены в вероятностных характеристиках двигателей 6 кВ.

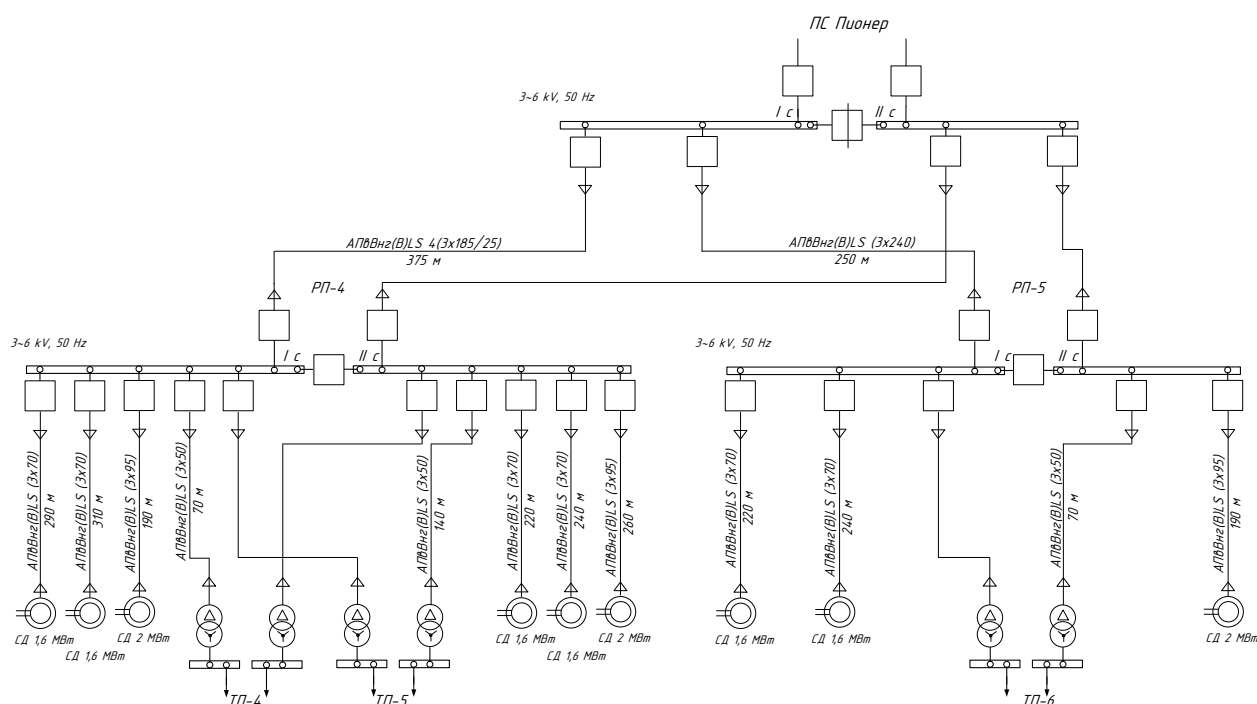


Рисунок 16 - Схема сети

На основе схемы сети 6 кВ используя буквенные обозначения элементов схемы составляется схема замещения для удобства расчёта количества последовательно соединенных элементов, рисунок 17.

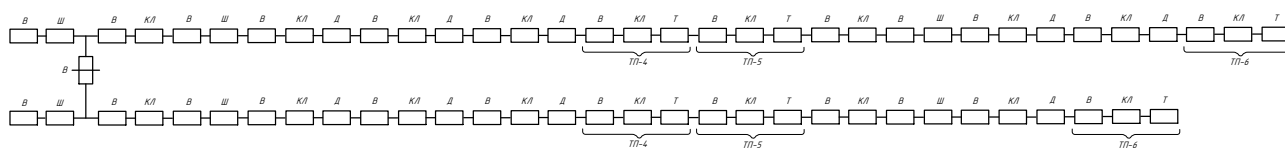


Рисунок 17 - Схема замещения для расчета надежности

Справочные данные показываються в таблице 44, на основе таблицы 44 в дальнейшем проводятся все соответствующие расчёты.

Таблица 44 – Справочные данные элементов схемы замещения

№ эл.	ω , 1/год	t_B , ч	μ , 1/год	t_p , ч
Вакуумные выключатели	0,004	8	0,18	15
Трансформатор 6/0,4 кВ	0,016	50	0,2	50
Кабельная линия 6 кВ	0,09	16	0,17	20
Шина 6 кВ	0,03	5	0,166	5
Двигатель 6 кВ	0,1	10	0,2	5

Используется следующая формула для определения вероятности отказа элементов схемы замещения:

$$q_{KL} = \omega_{KL} \cdot t_{вKL} \cdot L_{KL\text{сумм}} / 8760;$$

$$q_{KL1} = 0,09 \cdot 16 \cdot 2,015 / 8760 = 0,000331;$$

$$q_{KL2} = 0,09 \cdot 16 \cdot 1,745 / 8760 = 0,000287;$$

$$q_{T6/0,4} = \omega_{T6/0,4} \cdot t_{вT6/0,4} / 8760;$$

$$q_{T6/0,4} = 0,016 \cdot 50 / 8760 = 0,000091;$$

$$q_B = \omega_B \cdot t_{вB} / 8760;$$

$$q_B = 0,004 \cdot 8 / 8760 = 0,000004;$$

$$q_{CШ} = \omega_{CШ} \cdot t_{вCШ} / 8760;$$

$$q_{CШ} = 0,03 \cdot 5 / 8760 = 0,000017;$$

$$q_D = \omega_D \cdot t_{вD} / 8760;$$

$$q_D = 0,1 \cdot 10 / 8760 = 0,000114.$$

Далее следует выполнить эквивалентирование последовательно соединенных элементов от 1 и 2 секции шин 6 кВ ПС Пионер.

Используются следующие формулы для последовательно соединенных элементов при погашении каждой из секций шин 6 кВ ПС Пионер, для вероятности отказа цепочек:

$$q_1 = q_{КЛ1} + q_{CШ} N_{CШ} + q_T N_T + q_D N_D + q_B N_B;$$

$$q_1 = 0,000331 + 0,000017 \cdot 12 + 0,000091 \cdot 3 + 0,000114 \cdot 5 + 0,000004 \cdot 12 = 0,00143;$$

$$q_2 = q_{КЛ2} + q_{CШ} N_{CШ} + q_T N_T + q_D N_D + q_B N_B;$$

$$q_2 = 0,000287 + 0,000017 \cdot 11 + 0,000091 \cdot 3 + 0,000114 \cdot 4 + 0,000004 \cdot 11 = 0,00125;$$

Для расчёта потока отказов цепочек используются формулы:

$$\omega_{Г} = \omega_{КЛ1} + \omega_{CШ} N_{CШ} + \omega_T N_T + \omega_D N_D + \omega_B N_B + \omega_{пр \text{ наибКЛ}};$$

$$\omega_I = 0,09 \cdot 2,015 + 0,004 \cdot 12 + 0,016 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,03 \cdot 12 + 0,09 = 1,14;$$

$$\omega_{II} = \omega_{КЛ2} + \omega_{СШ} N_{СШ} + \omega_T N_T + \omega_D N_D + \omega_B N_B + \omega_{пр \text{ наибКЛ}};$$

$$\omega_{II} = 0,09 \cdot 1,745 + 0,004 \cdot 11 + 0,016 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,03 \cdot 11 + 0,09 = 0,98;$$

Для расчёта времени восстановления цепочек используются формулы:

$$t_{\delta 1} = q_1 / (\omega_I - \omega_{I_{нб}}) \cdot 8760 = 0,00143 / (1,14 - 0,09) \cdot 8760 = 11 \text{ ч}$$

$$t_{\delta 2} = q_2 / (\omega_{II} - \omega_{II_{нб}}) \cdot 8760 = 0,00125 / (0,98 - 0,09) \cdot 8760 = 11,1 \text{ ч}$$

Для расчёта коэффициентов преднамеренных отключений используются формулы:

$$K_{npI} = 1 - e^{-(t_{np1}/t_{\delta 1})} = 1 - e^{-(45/11)} = 0,98$$

$$K_{npII} = 1 - e^{-(t_{np2}/t_{\delta 2})} = 1 - e^{-(45/11,1)} = 0,98$$

Для расчёта параметра потока отказов системы используется формула:

$$\omega_c = \omega_I \cdot q_{II} + q_I \cdot \omega_{II} + q_1 \cdot \omega_{np2} + q_2 \cdot \omega_{np1};$$

$$\omega_c = 1,14 \cdot 0,00143 + 0,98 \cdot 0,00125 + ((1,14 - 0,09) \cdot 0,09 \cdot 45 / 8760 + (0,98 - 0,09) \cdot 0,09 \cdot 45 / 8760) = 0,0041$$

Для расчёта вероятности отказа системы используется формула:

$$q_c = q_1 \cdot q_2 + q_2 \cdot K_{np1} \cdot \omega_{np1} \cdot t_{np1} + q_1 \cdot K_{np2} \cdot \omega_{np2} \cdot t_{np2};$$

$$q_c = 0,00143 \cdot 0,00125 +$$

$$+0,00143 \cdot 0,98 \cdot 45 \cdot 1/8760 + 0,00125 \cdot 0,98 \cdot 45 \cdot 1/8760 = 0,00262$$

Необходимо предусмотреть срабатывание устройства ввода резерва в автоматическом режиме на ПС Пионер по формуле:

$$Q_c = Q(S/A_1 A_2) \cdot P(A_1) \cdot P(A_2) + Q(S/\bar{A}_1 A_2) \cdot Q(A_1) \cdot P(A_2) + \\ + Q(S/A_1 \bar{A}_2) \cdot P(A_1) \cdot Q(A_2) + Q(S/\bar{A}_1 \bar{A}_2) \cdot Q(A_1) \cdot Q(A_2)$$

где $Q(S/A_1 A_2)$ – составляющая полной вероятности, является условной вероятностью отказа системы в случае отсутствия отказа элементов схемы замещения;

$Q(S/\bar{A}_1 A_2)$ – составляющая полной вероятности, является условной вероятностью отказа системы в случае отказа элементов, влияющих на отключение поврежденного элемента;

$Q(S/A_1 \bar{A}_2)$ – составляющая полной вероятности, является условной вероятностью отказа системы в случае отказа элементов, влияющих на включение резерва;

$Q(S/\bar{A}_1 \bar{A}_2)$ – составляющая полной вероятности, является условной вероятностью отказа системы в случае отказа элементов, в случае если совпадает отказ в отключении с отказом во включении;

$P(A_1)$, $Q(A_1)$ – составляющие полной вероятности, зависят от наложения случаев отсутствия полного отказа и отказа в отключении элементов схемы замещения;

$P(A_2)$, $Q(A_2)$ – составляющие полной вероятности, зависят от наложения случаев отсутствия полного отказа и отказа во включении элементов схемы замещения.

Вероятность того, что произойдёт отказ во время отключения секционного выключателя составляет 0,01. На секционном выключателе устанавливается защита АВР, которая не позволяет оставаться без питания отключенной секции шин за счёт резервного источника. Вероятность того, что произойдёт отказа во включении принимается 0,002.

Составляющие формулы полного отказа секционного выключателя и системы:

$$P(A_1) = 1 - 2 \cdot 0,01 = 0,98;$$

$$Q(A_1) = 2 \cdot 0,01 = 0,02;$$

$$P(A_2) = 1 - 0,002 = 0,998;$$

$$Q(A_2) = 0,002;$$

$Q(S/\bar{A}_1 A_2) = 0,5$ (так как потребители распределены по секциям шин равномерно по $\frac{1}{2}$ нагрузки на секцию шин, одна секция гарантировано с питанием);

$Q(S/A_1 \bar{A}_2) = 0,5$ (так как потребители распределены по секциям шин равномерно по $\frac{1}{2}$ нагрузки на секцию шин, одна секция гарантировано в отказе);

$$Q(S/\bar{A}_1 \bar{A}_2) = 0,5 \text{ (обе секции в отказе)}$$

Для случая, когда отказы коммутационной аппаратуры отсутствуют и отказ системы наступает, если совпадёт отказ одной цепи (1) и аварийным простой другой цепи (2):

$$Q(S/A_1 A_2) = (q_{экв1} + q_{экв2}) \cdot 0,002;$$

$$Q(S/A_1A_2) = (0,00262+0,00262) \cdot 0,002 = 0,0001051$$

Для расчёта средней вероятности отказа системы используется формула:

$$Q_c = 0,0001051 \cdot 0,98 \cdot 0,998 + 0,5 \cdot 0,02 \cdot 0,998 + 0,5 \cdot 0,98 \cdot 0,002 + 0,5 \cdot 0,02 \cdot 0,002 = 0,0006$$

Для расчёта расчетного времени безотказной работы системы используется формула:

$$T_p = 0,105 \cdot \frac{1}{\omega_c};$$

$$T_p = 0,105 / 0,0041 = 25,6 \text{ лет};$$

Для расчёта среднего времени восстановления системы используется формула:

$$t_{BC} = \frac{q_c}{\omega_c};$$

$$t_{BC} = 0,0006 / 0,0041 = 0,15 \text{ с};$$

Для расчёта количества недоотпущенной электроэнергии используется формула:

$$W_{нед} = P_{деф} \cdot q_c \cdot 8760;$$

$$W_{нед} = 16400 \cdot 0,0006 \cdot 8760 = 86202 \text{ кВтч};$$

Для расчёта ограничений мощности используется формула:

$$P_{нед} = P_P \cdot q_c ;$$

$$P_{нед} = 16400 \cdot 0,0006 = 43 \text{ кВт};$$

Для расчёта ущерба от недоотпуска электроэнергии для добывающей отрасли при цене $D = 76$ руб/доллар:

$$Y = (Y_{осн} \cdot W_{нед} + Y_{внеш} \cdot P_{нед}) \cdot D;$$

$$Y = (0,2 \cdot 245058 + 0,6 \cdot 28) \cdot 76 = 2,17 \text{ млн.руб.}$$

Вывод - с учётом величины расчётного времени безотказной работы спроектированной системы электроснабжения 6 кВ ГГМК Пионер средний ущерб в год составляет $2,17/25,6 = 0,085$ млн.руб. в год, что при объёме выработки как руды, так и готового золотоносного материала незначительно.

10 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

10.1 Безопасность проекта

При эксплуатации сетей 6 кВ ГГМК Пионер требуется обезопасить обслуживающий персонал и оборудование, не задействованное в процессе передачи большой мощности и электроэнергии от негативного влияния электрического тока. Для этого более подробно в данном разделе разберем вопрос защитного заземления, что это такое и для чего применяется. А также другие меры препятствующие попаданию персонала под напряжение, и позволяющие организовать безопасную работу при эксплуатации распределительной сети 6 кВ ГГМК Пионер, [20].

Для защиты персонала, обслуживающего РП-4 и КТП-4, от поражения электрическим током предусматриваются следующие мероприятия по технике безопасности:

- для оборудования 6-0,4 кВ предусматривается заземление корпуса;
- заземлению подлежат корпуса трансформаторов Т-1 и Т-2 в КТП-4, заземление подключается к общему контуру заземления;
- предусматривается периодический контроль изоляции;
- в целях исключения прикосновения или опасного приближения к незаземленным частям электрического оборудования предусматривается обеспечение безопасности людей следующим путём:
 - а) ограждением, более подробно рассмотрим данный вопрос ниже;
 - б) блокированием, более подробно рассмотрим данный вопрос ниже;
 - в) расположением токоведущих частей на недоступной высоте и в недоступном месте, более подробно рассмотрим данный вопрос ниже.

В целях предотвращения попадания посторонних лиц на территорию станции предусматривается ограждение решетчатым забором высотой 1,7 м.

Для предотвращения поражения персонала током весь переносной инструмент имеет рукоятки из изолирующего материала.

В качестве заземлителей используется заземляющее устройство РП-4 и КТП-4.

Организационные меры включают в себя [20]:

- Выделение работ перечнем, который необходимо выполнять в порядке текущей эксплуатации, а также работ по устным распоряжениям и наряд-допускам;

- Подготовка рабочих мест;
- Допуск бригад к работе;
- Оформление перерывов в работе;
- Надзор за выполнением ремонтных работ;
- Прием ремонтных работ оперативным персоналом.

Требуется соблюдать основное правило защиты от поражения электрическим током при работах в РП-4 и КТП-4, а именно опасные токоведущие части не должны быть доступными, а доступные проводящие части не должны быть под напряжением.

Для того чтобы выполнить основное правило защиты от поражения электрическим током в РП-4 и КТП-4 в нормальных условиях, необходимо использовать основную защиту. Основная защита должна состоять из одной или нескольких мер, которые в нормальных условиях исключают контакт с опасными токоведущими частями.

В РП-4 и КТП-4 применяются следующие такие меры защиты как использование основной изоляции, ограждений и барьеров, дистанцирование токоведущих частей от обслуживающего персонала, ограничение напряжения.

В КРУ-6 кВ РП-4 и КТП-4 используют твердую основную изоляцию, которая предотвращает контакт с опасными токоведущими частями. Также применяется основная воздушная изоляция, которая обеспечивается за счет воздуха. Основная изоляция используется на всём установленном оборудовании как на РП-4 и КТП-4 так и в распределительной сети 6 кВ ГГМК Пионер. К нему относятся изоляторы как полимерные так и фарфоровые. В КРУ-6 кВ РП-4 и

КТП-4 установлены опорные фарфоровые изоляторы являющиеся основной изоляцией.

Ограждения и оболочки оборудования в РП-4 и КТП-4 исключают доступ к опасным токоведущим частям за счет выбора степени защиты от поражения электрическим током не менее IPXXB (или IP2X) в соответствии с ГОСТ 14254. Ограждения и оболочки в РП-4 и КТП-4 обладают достаточной механической прочностью, стабильностью и долговечностью, позволяющими поддерживать установленную степень защиты с учетом всех соответствующих воздействий со стороны окружающей среды и изнутри оболочки. Ограждения и оболочки в РП-4 и КТП-4 прочно закреплены на месте установки. К таким ограждениям относятся корпуса КРУ, корпуса силовых трансформаторов, они устанавливаются заводами производителями на силовое оборудование еще при монтаже. Также заводами определяется степень защищенности того или иного оборудования.

Барьеры в РП-4 и КТП-4 предназначены для защиты квалифицированных специалистов или проинструктированных лиц и не предназначены для защиты простых лиц. К таким барьерам относится барьер в трансформаторном отсеке всех вводимых ТП, предотвращающий случайное проникновение персонала в трансформаторный отсек и прикосновение к токоведущим шинам. Барьер в ТП-4 изготовлен из диэлектрического материала, с укрепленным на нем знаком безопасности как на рисунке 18.

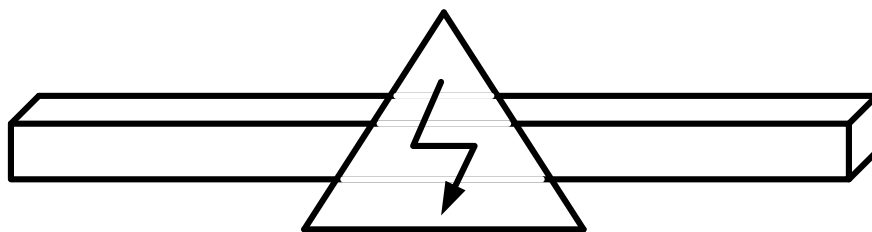


Рисунок 18 – Барьер в трансформаторном отсеке ТП-4

Размещение токоведущих частей в РП-4 и КТП-4 вне зоны досягаемости может исключить неумышленный одновременный доступ к проводящим частям, между которыми может быть опасное напряжение. Данное мероприятие выполняется в соответствии с пунктами ПУЭ [22]. И заключается в том, что

при развитии распределительной сети 6 кВ ГГМК Пионер вновь устанавливаемые КТП устанавливаются на фундаменты и расстояние до открытых токоведущих частей выше 2,7 м [22]. Также выполняется установка нового оборудования на РП-4 и РП-5.

Ограничение напряжения в РП-4 и КТП-4 достигается за счет установки ОПН-6 кВ непосредственно в РП на каждом отходящем присоединении, а также на каждой КТП.

Также защитной мерой от поражения электрическим током является контроль изоляции.

Объем измерений и испытаний изоляции силовых трансформаторов ТП-4 класса напряжения 6 кВ во время приемо-сдаточных испытаний и в период текущей эксплуатации включает: измерение сопротивления изоляции R_{60} , определение коэффициента абсорбции R_{60}/R_{15} , измерение тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ [22].

Оценка результатов измерения R_{60} и $\operatorname{tg} \delta$ изоляции выполняется путем приведения измеренных после монтажа значений при конкретной температуре до значений при температуре заводских испытаний (после изготовления).

10.2 Экологичность проекта

Рассматривая вопрос экологичности, можно отметить, что при несоблюдении определенных правил и норм из всего оборудования, установленного на ТП-4, наибольшую опасность окружающей среде могут нанести трансформаторы, в которых осуществляется масляное охлаждение.

Для предотвращения растекания масла и распространения пожара при повреждениях трансформаторов в ТП-4 в соответствии с [22] выполняются маслоприемники, маслоотводы и маслосборники с соблюдением следующих требований:

- устройство маслоприемников и маслоотводов исключает переток масла (воды) из одного маслоприемника в другой, растекание масла по кабельным и другим подземным сооружениям, распространение пожара, засорение маслоотвода и забивку его снегом, льдом и т. п.;

- маслоприемники с отводом масла могут выполняться как заглубленного типа (дно ниже уровня окружающей планировки земли), так и незаглубленного типа (дно на уровне окружающей планировки земли).

Трансформаторы, установленные на ТП-4, оборудованы незаглубленными маслоприемниками.

Незаглубленный маслоприемник должен выполняться в виде бортовых ограждений маслonaполненного оборудования. Высота бортовых ограждений должна быть не менее 0,25 и не более 0,5 м над уровнем окружающей планировки.

В реконструируемой системе электроснабжения 6 кВ ГГМК Пионер применяются комплектные ТП. Трансформаторы размещаются в силовом отсеке ТП, для удобства их установки предусмотрены полозья. Маслоприемник располагается под силовым отсеком ТП. Максимальная мощность трансформаторов на ТП-4 составляет 1000 кВА. Для ТП-4 1000 кВА при массе масла или негорючего экологически безопасного диэлектрика в одном баке более 600 кг должен быть устроен маслоприемник, рассчитанный на полный объем масла, или на удержание 20 % масла с отводом в маслосборник [22]. Рассчитаем маслоприемник, рассчитанный на полный объем масла.

Определим габариты маслоприёмника.

Площадь маслоприемника должна быть более площади основания трансформатора, [22]. Принимаем, что габариты маслоприемника на 0,6 м выступают за габариты трансформатора.

Для трансформатора мощностью 1000 кВА площадь маслоприёмника находится по формуле, m^2 :

$$S_{МП} = (A + 2 \cdot \delta) \cdot (B + 2 \cdot \delta) , \quad (107)$$

где A - длина трансформатора, 2,25 м [21];

B - ширина трансформатора, 1,3 м [21];

δ - ширина выступа, принимается 0,6 м.

$$S_{МП} = (2,25 + 2 \cdot 0,6) \cdot (1,3 + 2 \cdot 0,6) = 8,63 \text{ м}^2$$

Далее определяем объём трансформаторного масла по формуле, м^3 :

$$V_{ТМ} = \frac{M}{\rho_{ТМ}}, \quad (108)$$

где M - масса масла, 1180 кг [23];

$\rho_{ТМ}$ - плотность масла, выбираемая из диапазона ($\rho_{ТМ} = 880 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$).

$$V_{ТМ} = \frac{1180}{880} = 1,34 \text{ м}^3$$

Высота маслоприёмника для приёма 100 % масла, м:

$$h_{ТМ} = \frac{V_{ТМ}}{S_{МП}}. \quad (109)$$

$$h_{ТМ} = \frac{1,34}{8,63} = 0,16 \text{ м.}$$

Высота маслоприёмника для приёма 80 % воды от средств пожаротушения, м:

$$h_{80\% \text{ воды}} = \frac{V_{80\% \text{ воды}}}{S_{МП}}; \quad (110)$$

$$h_{80\% \text{ воды}} = \frac{6,35}{8,63} = 0,74;$$

Объём, необходимый для размещения 80 % воды от средств пожаротушения из расчёта орошения площади маслоприёмника и боковых поверхностей трансформатора определяют по следующей формуле, м³:

$$V_{80\% \text{ воды}} = 0,8 \cdot i \cdot t \cdot (S_{МП} + S_{БПТ}), \quad (111)$$

$$V_{80\% \text{ воды}} = 0,8 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1800 \cdot (13,42 + 8,63) = 6,35,$$

где i - интенсивность пожаротушения, равна $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2$;

t - время на тушение пожара, 1800 с.;

$S_{БПТ}$ - площадь боковой поверхности трансформатора, определяется по формуле, м²:

$$S_{БПТ} = 2 \cdot (A + B) \cdot H, \quad (112)$$

$$S_{БПТ} = 2 \cdot (2,25 + 1,3) \cdot 1,89 = 13,42,$$

где A, B - длина и ширина трансформатора, 2,25 м и 1,3 м соответственно, принимается по [21];

H - высота трансформатора, принимается 1,89 м по [21].

Окончательная высота маслоприёмника с учётом насыпи гравия и зазора от сетки до поверхности масла определяется по формуле, м:

$$h_{МП} = h_{ТМ} + h_2 + h_{гр} + h_{80\% \text{ воды}} \quad (113)$$

где h_2 - толщина слоя гравия на решетке ($h_2 = 0,25 \text{ м}$);

h_p - расстояние до решетки ($h_p = 0,05 \text{ м}$);

$h_{80\% \text{ воды}}$ - высота маслоприёмника для приёма 80 % воды от средств пожаротушения ($h_{80\% \text{ воды}} = 0,74 \text{ м}$);

$$h_{МП} = 0,16 + 0,25 + 0,05 + 0,74 = 1,2.$$

Маслоприёмники без отвода масла выполняются заглубленной конструкцией и закрываются металлической решеткой, поверх которой насыпается слой чистого гравия или промытого гранитного щебня толщиной 0,25 м, либо не пористого щебня другой породы с частицами от 30 до 70 мм.

Уровень полного объема масла в маслоприёмнике должен быть ниже решетки более чем на 0,05 м.

Эскиз маслоприёмника ТП-4 представлен на рисунке 19.

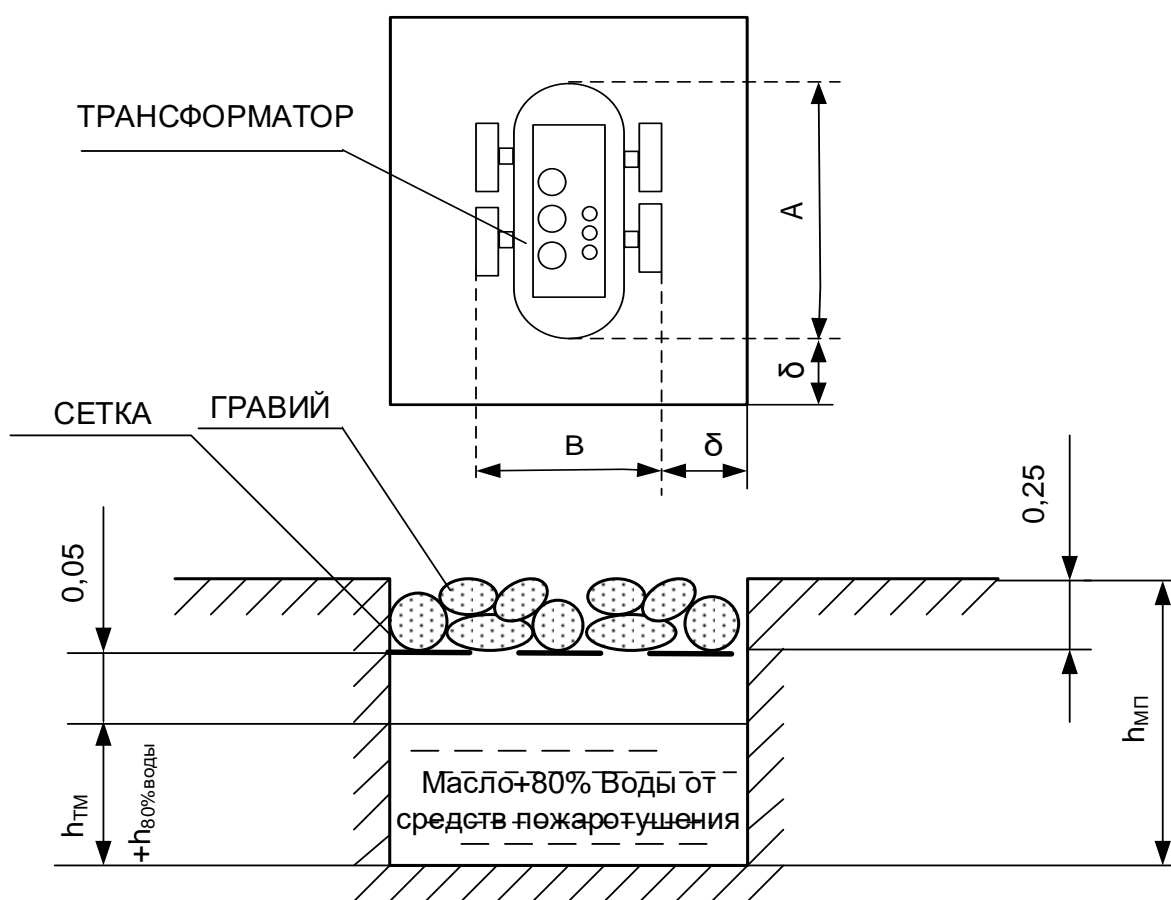


Рисунок 19 - Эскиз маслоприёмника ТП-4 1000 кВА

10.3 Чрезвычайные ситуации

Так как в проекте предусматривается сооружение ТП-4 6/0,4 кВ, то рассмотрим необходимые меры по тушению пожаров в КТП.

При возникновении пожара в ТП-4 ГГМК Пионер, находящихся под напряжением, персонал оперативно-выездной бригады обязан после немедлен-

ного сообщения о случившемся пожаре, определения места его возникновения и оценки обстановки по возможности снять напряжение с горящей установки или соседнего с ней электрооборудования (если это не повлечет за собой более тяжелых последствий) [24]. Автоматических систем пожаротушения в ТП-4 ГГМК Пионер данным проектом не предусматривается. В обязанности обслуживающего персонала входит также уведомление прибывших для тушения пожара членов пожарных бригад о местах заземления технических средств и местах расположения пожарных гидрантов.

Тушить загорание в ТП-4 ГГМК Пионер под напряжением обслуживающий персонал должен при помощи следующих типов ручных и передвижных огнетушителей:

- хладоновых – при напряжении до 0,38 кВ;
- порошковых – при напряжении до 1 кВ;
- CO₂-огнетушителей – при напряжении до 10 кВ.

Тушение пожара в электроустановках 6 кВ ГГМК Пионер, находящихся под напряжением с применением ручных стволов должно осуществляться только:

- при применении эффективной подачи в зону горения огнетушащих веществ, к числу которых относятся компактные и распыленные струи воды, негорючие газы, хладон и порошковые составы, а также комбинированные составы (углекислота с хладоном и распыленная вода с порошком);

- с соблюдением электробезопасных расстояний от горящих электроустановок, находящихся под напряжением, до пожарных, работающих с ручными пожарными стволами;

- с применением персоналом и пожарными, непосредственно участвующими в тушении пожара, индивидуальных изолирующих электрозащитных средств (диэлектрических перчаток, бот или сапог);

- при обеспечении надежного заземления стволов и пожарных автомобилей, осуществляемого при помощи гибких медных проводов сечением не менее 10 мм², снабженных специальными струбцинами для подключения к заземлен-

ным конструкциям (гидрантам водопроводных сетей, металлическим опорам отходящих ВЛ и т.п.). Ручные пожарные стволы и насосы пожарных автомобилей должны заземляться отдельными заземлителями (стволы заземляются только при подаче воды от внутреннего водопровода).

Применение всех видов пен при тушении электроустановок 6 кВ ГГМК Пионер под напряжением ручными средствами с участием людей запрещается. Это вызвано тем, что применение пены для повышения огнетушащих свойств смеси повышает электропроводность воды.

Несомненно, в зависимости от конкретных видов электрооборудования, охваченного пожаром, в той или иной мере видоизменяется тактика тушения пожара, а также номенклатура используемого пожарного оборудования. В связи с этим в качестве характерного примера рассмотрим особенности тушения пожаров и обеспечение пожаробезопасности при их тушении *в кабельных сооружениях* электроустановок.

Так как в РУ-6 кВ РП-4 и РП-5 ввода выполняются в кабельных каналах, то рассмотрим меры безопасности при тушении пожаров в кабельных каналах.

Тушение пожаров в кабельных каналах проводится с использованием огнетушащих средств: углекислотных, порошковых, аэрозольных составов, воды, песка, асбестового полотна, причем конкретный способ тушения пожара выбирается в зависимости от места его возникновения, площади, объема и распространения пожара с обязательным соблюдением требований правил пожаро- и электробезопасности.

Тушение пожаров в кабельных сооружениях и помещениях ручными средствами пожаротушения при видимости менее 5 м без снятия напряжения с токоведущих частей электроустановок и нахождении в них работников запрещается в целях предотвращения травмирования электрическим током.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной бакалаврской работе спроектирована и рассчитана система электроснабжения блока измельчения напряжением 0,4 кВ, а также разработана схема электроснабжения 6 кВ ГГМК Пионер на 2025 год. В работе произведены расчеты электрических нагрузок для выбора трансформаторов КТП, расчеты электрических нагрузок для выбора оборудования ТП и РП. Выбор числа и мощности трансформаторов КТП осуществлялся с учетом компенсации реактивной мощности. Основными критериями при проектировании являются техническая применимость и экономичность работы.

Оценка выбора оптимального варианта электроснабжения блока измельчения осуществлялась по приведенным годовым затратам на проектируемую сеть после выбора сечений проводников сети, коммутационной аппаратуры. По току КЗ проверены сечения проводников сети и защитной коммутационной аппаратуры для принятого варианта электроснабжения. Выбраны уставки средств РЗА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 URL: <http://rg.ru/2016/02/08/reg-dfo/v-amurskoj-oblasti-postroiat-zavod-po-pererabotke-soi.html> (доступ от 26.04.2021)
- 2 URL: http://trasa.ru/region/amurskaya_clim.html (доступ от 26.04.2021)
- 3 URL: <http://www.skess.ru/ru/elevator-zernovogo-syrya-emkostyu-90-000-tonn-i-shrota-emkostyu-3500-tonn-v-sostave-kombikormovogo-zavoda> (доступ от 26.04.2021)
- 4 Алиев И.И. Электротехнический справочник – 5-е изд., стереотип. – М.: ИП Радиософт, 2010.-384 с.:ил.
- 5 Электротехнический справочник: В 4 т. Производство, передача и распределение электрической энергии. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). - 8-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2007. — 964 с.
- 6 ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems
- 7 Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. Москва, 2008 г.
- 8 Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии. Утвержден приказом Минэнерго России от 23 июня 2015 г. № 380.
- 9 Рожин А.Н. Учебное пособие: Системы электроснабжения. Киров 2008г.
- 10 Файбисович Д.Л., Карапетян И.Г. Укрупненные стоимостные показатели электрических сетей 35 -1150 кВ. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2009.Ополева Г. Н. Схемы и ПС электроснабжения Москва, 2006 г.
- 11 Ополева Г. Н. Схемы и ПС электроснабжения Москва, 2006 г.

12 РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России». – М.: Издательство «ЭНАС», 2001. – 154 с.

13 URL: <http://www.ielektro.ru/Document52147.html> (доступ от 26.04.2021)

14 Киреева Э.А. Автоматизация и экономия электроэнергии в системах промышленного электроснабжения. Москва, 2008 г.

15 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. С.-П.: Издательство ПЭИПК, 1999.

16 СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций

17 URL: <http://leg.co.ua/stati/podstancii/voprosy-bezopasnosti-svyazannye-s-neytralyami-elektrostanovok.html> (доступ от 26.04.2021)

18 Беляков Ю.П. Козлов А.Н. Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2004.– 132 с.

19 Ротачёв, Ю. А. Релейная защита и автоматика: Учебно-методическое пособие для студентов заочного обучения / Ю. А. Ротачёв. - Амурский гос. ун-т – Благовещенск, 2000.

20 Правила устройства электроустановок. Издание 7 (утв. Приказом Минэнерго РФ от 08.07.2002 N 204)

21 Савина Н.В. Теория надежности в электроэнергетике: Учебное пособие. - Амурский гос. ун-т. 2007.

22 URL: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=137> (доступ от 26.04.2021)

23 (2001) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

24 Тарасов А. И., Румянцев Д. Е. «Современное электротехническое элегазовое оборудование», Учебно-методическое пособие, - М.: ИУЭ ГУУ,

ВИПКэнерго, ИПКгосслужбы, 2012. – 144 с.

25 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. N 328н

26 Усов, С. В. Электрическая часть электростанций: учеб. пособие / С. В. Усов. - М.: Энергоатомиздат, 2007. — 694 с.

27 Иманов, Г. М. Методика выбора нелинейных ограничителей, необходимых для защиты изоляции сетей низкого, среднего, высокого и сверхвысокого напряжения трёхфазного переменного тока. Г. М. Иманов, Ф. Х. Халилов, А. И. Таджибаев. – СПб. : ПЭИПК, 2004. — 58 с.

28 Ящура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: Справочник. А. И. Ящура. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 360 с.

29 Трубицын В.И. Надежность электростанций: Учебник для вузов. Энергоатомиздат, 1997. — 240 с: ил.

30 URL: [http:// www.elster.ru](http://www.elster.ru) (доступ от 10.05.2021)