

**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: Модернизация системы электроснабжения первого и второго подъема багерной насосной станции СП «Благовещенская ТЭЦ»

Исполнитель  
студент группы 742-узб

\_\_\_\_\_

подпись, дата

М.Б. Ловицкий

Руководитель  
профессор, канд. техн.  
наук

\_\_\_\_\_

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

**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 Ловицкого Максима Борисовича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Модернизация системы электроснабжения первого и второго подъема багерной насосной станции СП «Благовещенская ТЭЦ»

(утверждено приказом от 19.03.2021 № 575-уч.)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) \_\_\_\_\_

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Однолинейная схема электроснабжения собственных нужд 6, 0,4 кВ БТЭЦ, план расположения оборудования багерной насосной станции, технические характеристики оборудования

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

Разработка системы электроснабжения 6, 0,4 кВ, выбор оборудования 6, 0,4 кВ, расчет токов короткого замыкания в сети 6, 0,4 кВ, проверка оборудования 6, 0,4 кВ

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) 3 таблицы

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов) консультант по безопасности и экологичности доцент, кандидат технических наук А.Б. Булгаков

7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель выпускной квалификационной работы: кандидат технических наук, профессор Ю.В. Мясоедов

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

Задание принял к исполнению (дата): \_\_\_\_\_

(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 98 стр., 14 рисунков, 26 таблиц, 89 формул, 20 источников, 3 приложения.

НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ, СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ПОТРЕБИТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ВЫКУУМНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАТОТЫ, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ, БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ, КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЯ

В данной работе разработан проект современной системы электроснабжения первого и второго подъема багерной насосной станции СП Благовещенской ТЭЦ. В ходе выполнения работы проанализирована существующая система электроснабжения и определены ее основные недостатки, на основании этих данных проведены необходимые расчеты и выбрано современное оборудование. Все принятое к установке оборудование проверено по условиям протекания токов короткого замыкания. Дополнительно в данной работе, для повышения надежности электроснабжения потребителей, проведена модернизация секций 6 кВ собственных нужд СП Благовещенской ТЭЦ. Так же проведен расчет уставок микропроцессорных защит устанавливаемых на головных выключателях преобразователей частоты, рассмотрены вопросы в отношении безопасной эксплуатации оборудования. Определена общая стоимость реализации проекта системы электроснабжения.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА	9
2 ОПИСАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БАГЕРНОЙ НАСОСНОЙ	9
2.1 Основные недостатки существующей системы электроснабжения багерной насосной станции	16
3 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ БАГЕРНОЙ НАСОСНОЙ	17
3.1 Работа багерной насосной станции	17
3.2 Использование преобразователей частоты	18
4 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БАГЕРНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ	19
5 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ 6 КВ БАГЕРНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ	22
5.1 Выбор преобразователей частоты	22
5.2 Выбор кабельных линий 6 кв для питания ПЧ и эл. двигателей	25
5.3 Выбор вводных шкафов 6 кВ	28
6 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ НИЗКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БАГЕРНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ	28
6.1 Данные о потребителях 0,4 кВ	28
6.2 Расчет низковольтной нагрузки 0,4 кВ	30
6.3 Разработка схемы электроснабжения групп потребителей 0,4 кВ	32
6.4 Выбор кабельных линий 0,4 кВ	33
6.5 Расчет токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ	37
6.6 Проверка кабельных линий 0,4 кВ	41
6.7 Выбор и проверка АВ 0,4 кВ	43
7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ТОКОВ КЗ	46
8 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ 6 КВ	53
8.1 Выбор и проверка выключателей 6 кВ	54

8.2	Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 6 кВ.	57
8.3	Выбор трансформаторов тока для секций СН 6 кВ	57
8.4	Выбор трансформатора напряжения 6 кВ	59
8.5	Выбор жестких шин КРУ 6 кВ	60
9	ПРОВЕРКА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 6 КВ	62
9.1	Проверка кабельных линий 6 кВ по термической стойкости	62
9.2	Проверка кабельных линий 6 кВ по потере напряжения	65
10	ТЕЛЕМЕХАНИКА	66
11	АСУ ЭТО	67
12	ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ	71
12.1	Назначение	71
12.2	Особенности	72
12.3	Общие сведения	74
12.4	Принцип работы	80
12.5	Интерфейс	82
12.6	Функции	83
13	БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ	87
13.1	Безопасность	87
13.2	Экологичность	91
13.3	Чрезвычайные ситуации	94
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	96
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	97
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Выбор кабельных линий 6 кВ	99
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б Выбор кабельных линий 0,4 кВ	100
	ПРИЛОЖЕНИЕ В Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ	101

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АВ –автоматический выключатель

АВР – автоматика ввода резерва

АСУ–Автоматизированная система управления

БМРЗ – блок микропроцессорной защиты

БН – багерный насос

ВВ – вакуумный выключатель

ВНР – автоматика восстановления нормального режима работы

ВПЧ – высоковольтный преобразователь частоты

ЗН – заземляющий разъединитель

КЗ –короткое замыкание

ПЧ – преобразователь частоты тока

СБ – силовой блок

СН – собственные нужды

ТН трансформатор напряжения

ТТ – трансформатор тока

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на Благовещенской ТЭЦ введена в эксплуатацию вторая очередь включающая в себя следующее основное оборудование: турбоагрегат стационарный №4 и котлоагрегат стационарный №5, что в значительной степени повысило нагрузку на все вспомогательное оборудование, такое например как багерная насосная станция предназначенная для удаления продуктов горения угольного топлива и перемещения его на золоотвал. Работа теплоэлектроцентрали без данного важного узла не может быть организована поэтому в данной работе рассматривается вопрос который остро стоит в настоящее время о необходимости реконструкции системы электроснабжения данного потребителя.

Целью данной работы является анализ основных недостатков в системе электроснабжения багерной насосной станции Благовещенской ТЭЦ и разработка на его основе проекта современной системы электроснабжения с учетом требований по надежности электроснабжения.

Актуальность работы заключается в том что в настоящее время оборудование багерной насосной станции работает на пределе своих возможностей, а при незначительных нарушениях в электроснабжении происходит отключение потребителей данного узла с соответствующим сбросом тепловой и электрической мощности всей электроцентрали. Данную ситуацию усугубляет тот факт что электротехническое оборудование используемое на данном узле периодически выходит из строя по причине износа. Так как Благовещенская ТЭЦ является практически единственным источником тепловой энергии для города, то нарушения в ее работе приводят к значительным финансовым потерям и являются по своей сути недопустимыми.

Дополнительно в данной работе рассматривается модернизация распределительных устройств собственных нужд в частности секции 2Р, так как оно постоянно находится практически на номинальной нагрузке, периодически возникают проблемы с нагревом контактных соединений,

выходом из строя выключателей рабочих и резервных вводов, а так же присоединений.

Практическая значимость работы заключается в необходимости решения задач по проектированию современной и надежной системы электроснабжения такого ответственного узла, как багерная насосная станция на Благовещенской ТЭЦ. После выполнения данной работы будут определены характеристики и стоимость необходимого для реконструкции оборудования.

В ходе выполнения данной работы будут решены следующие задачи:

- проведен анализ и определены основные недостатки существующей системы электроснабжения;
- разработана новая система электроснабжения отвечающая всем требованиям касающимся качества и надежности;
- проведен выбор кабельных линий и преобразователей частоты для питания багерных насосов;
- проведена проверка выбранного оборудования по условиям протекания токов короткого замыкания;
- проведена модернизация оборудования 6 кВ СН Благовещенской ТЭЦ;
- выполнены основные экономические расчеты при реконструкции системы электроснабжения;

При выполнении данной работы были использованы следующие программ: Word, Excel, Visio. Math soft: Mathcad.

Ожидаемыми результатами от выполнения данной работы являются: технические и экономические характеристики оборудования устанавливаемого на Благовещенской ТЭЦ в ходе реконструкции, определение действительных значений токов короткого замыкания на всех уровнях напряжений распределительных устройств.



## 1 КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

При выборе оборудования необходимо опираться на климатическую характеристику района в котором будет проводиться реконструкция. Любое электротехническое оборудование имеет климатическое исполнение и должно эксплуатироваться в соответствующей среде, поэтому в данном разделе приводим в таблице 1 основные климатические характеристики рассматриваемого района.

Таблица 1 – Климатические условия района

Параметр	Значение
Наименьшая температура, °С	- 45,4
Среднегодовая температура, °С	+1,6
Наивысшая температура, °С	+ 39,4
Степень загрязнения атмосферы	1
Влажность относительная наибольшая, %	80
Высота над уровнем моря, м	314

В дальнейшем при выборе и проверке оборудования опираемся на указанные в таблице 1 данные.

## 2 ОПИСАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БАГЕРНОЙ НАСОСНОЙ

Подробная однолинейная схема электроснабжения первого и второго подъемов багерной насосной станции на Благовещенской ТЭЦ представлена на рисунке 1.

На первом подъёме багерной насосной станции расположено 3 насосных установки, которые могут получать питание как от сети, так и от преобразователей частоты. При нормальном режиме работы на первом подъёме багерной насосной, в работе находятся два насоса работающие от

преобразователей частоты, третий насос находится в резерве. Питание первого подъема багерной насосной осуществляется от секций собственных нужд 1РО, 2Р, 4Р. Любой из насосов первого подъема может питаться от преобразователя частоты №1, №2, либо просто включаться от сети без регулирования частоты, данная функция осуществляется благодаря дополнительному распределительному устройству которое позволяет выбирать любой из источников питания для каждого электродвигателя в отдельности.

В качестве коммутационных аппаратов перед преобразователями частоты установленные разъединители находящиеся в одном помещении вместе с ними и позволяющие выводить в ремонт данное оборудование в минимальные сроки.

В настоящее время электрооборудование которое используется для питания багерной насосной станции является устаревшим, в качестве защитных коммутационных аппаратов со стороны секций собственных нужд, используются масляные устаревшие выключатели которые давно израсходовали свой ресурс и периодически выходят из строя при включении насосов, также здесь используются кабельные линии с пропитанной бумажной изоляцией которые в некоторых ситуациях также выходят из строя.

Система электроснабжения второго подъема багерной насосной выглядит аналогичным образом что и для первого подъема. Также здесь установлены три насоса (в нормальном режиме 2 из них находятся в работе, один в резерве) которые могут получать питание как от преобразователей частоты так и включаться напрямую от сети путем включения головного выключателя, в данном случае электрооборудование используемое для электроснабжения также является устаревшим и требует замены.

Так как в данной работе рассматривается и реконструкция секций собственных нужд Благовещенской ТЭЦ, поэтому следует рассмотреть и схемы электроснабжения данных объектов. Для первой очереди Благовещенской ТЭЦ имеется 6 секций собственных нужд которые указаны на рисунках 2, 3, 4, от секции 1РО, 1Р, 2Р, 3Р, 4Р, 5Р. Секции 1РО, 1Р получают питание от рабочей отпайки через реактор от генератора ТГ-1. Реактор сдвоенный

токоограничивающий подключаются между генератором и повышающим трансформатором Т1.

Секции 2Р, 3Р, 4Р, 5Р получают питание по аналогичной схеме что и для первого блока, однако здесь в качестве связующего звена имеется силовой трансформатор типа ТРДНС 25000/10/6/6 предназначены для понижения генераторного напряжения 10 кВ до напряжения используемого в собственных нуждах 6 кВ. Резервирование всех указанных секции собственных нужд осуществляется от 2-х токопроводов 6 кВ получающих питание в свою очередь от трансформатора РТСН типа ТРДН 25000/110/6/6.

Основной проблемой данных распределительных устройств как и для системы электроснабжения багерной насосной является физический износ электрооборудования, которое было введено в эксплуатацию ещё в 80-х годах и требует замены на более современное и надежное.

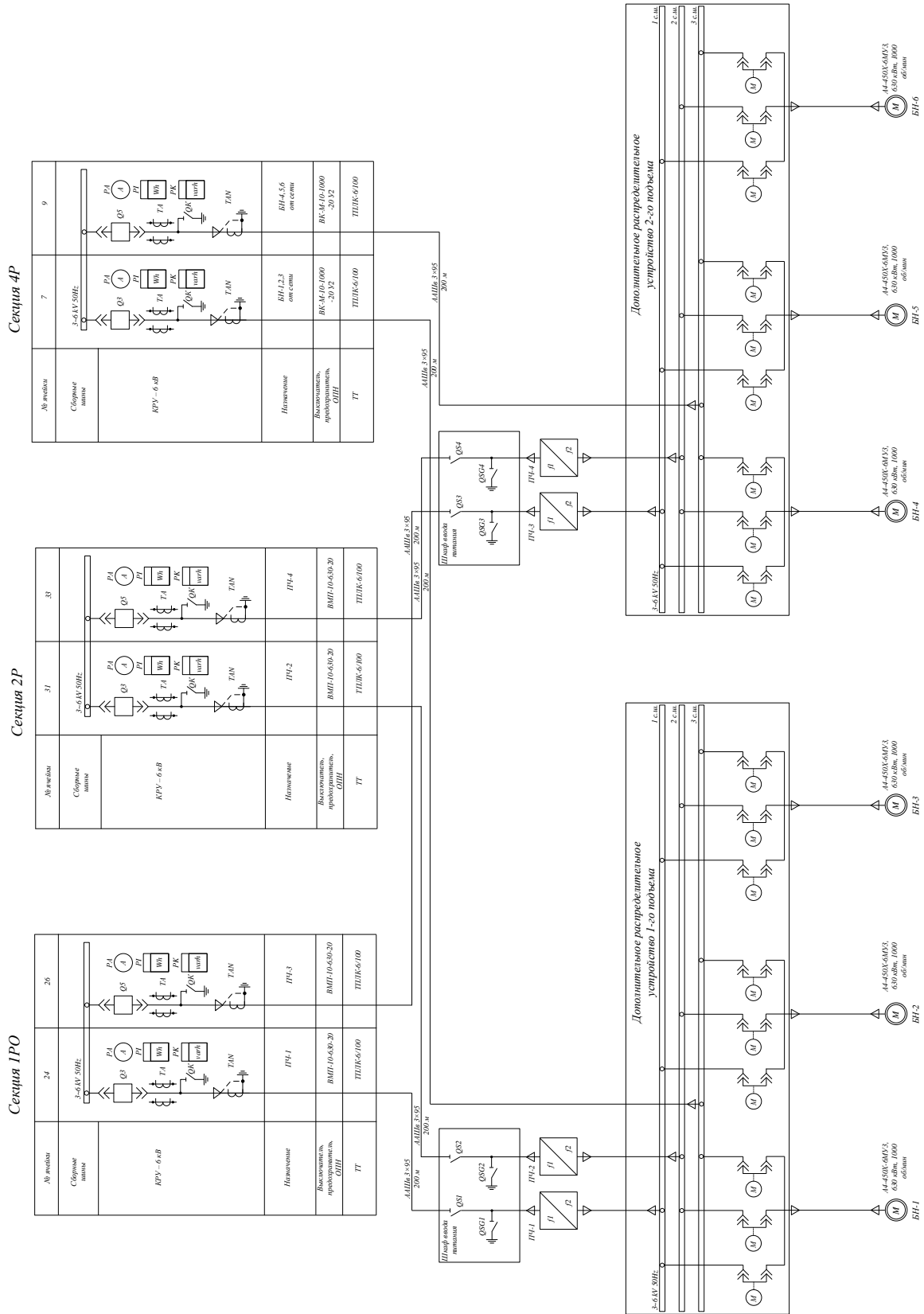


Рисунок 1 – Принципиальная существующая однолинейная схема электроснабжения первого и второго подъема багерной насосной станции

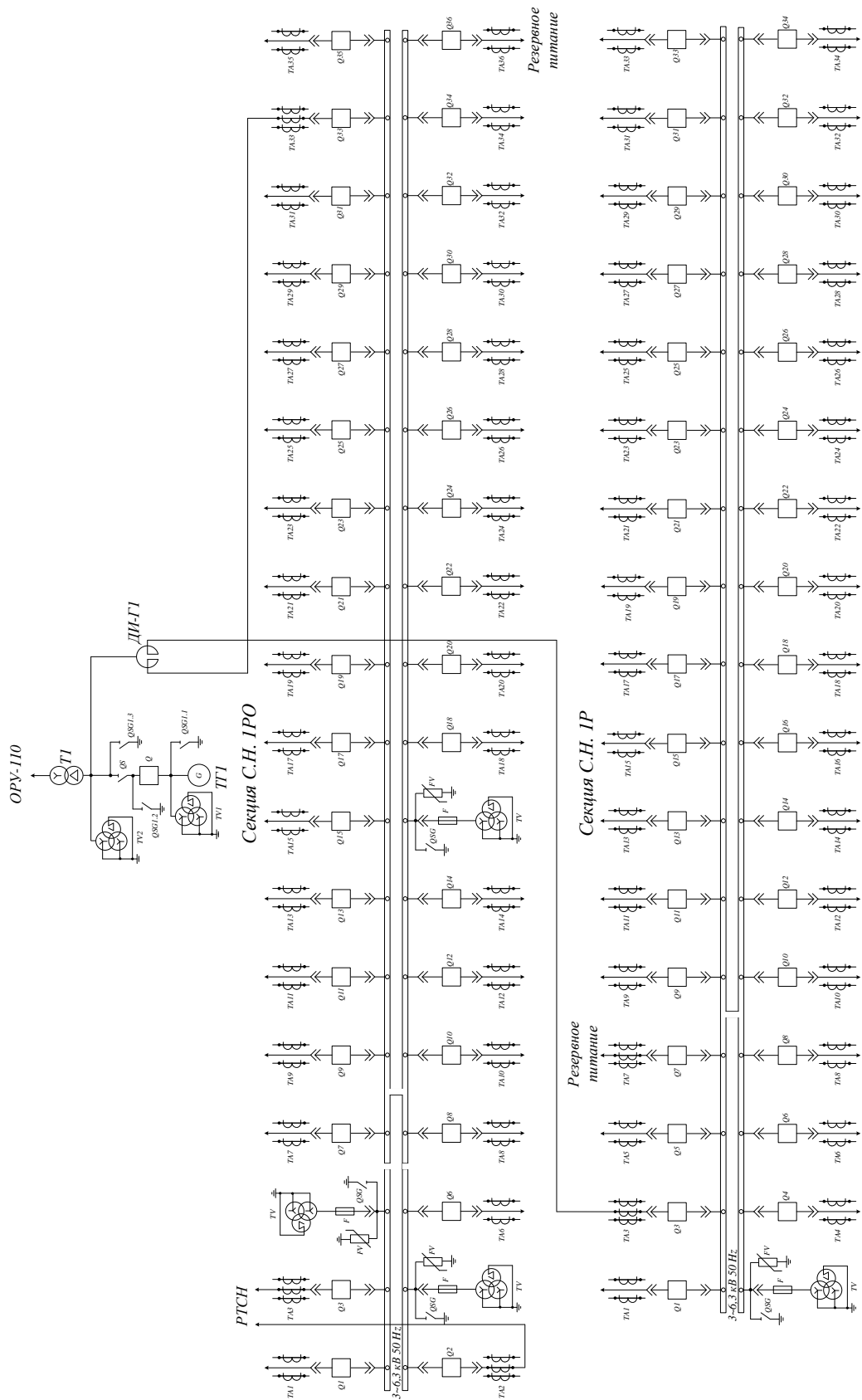


Рисунок 2 - Принципиальная схема первого энергоблока Благовещенской ТЭЦ с отбором мощности на собственные нужды

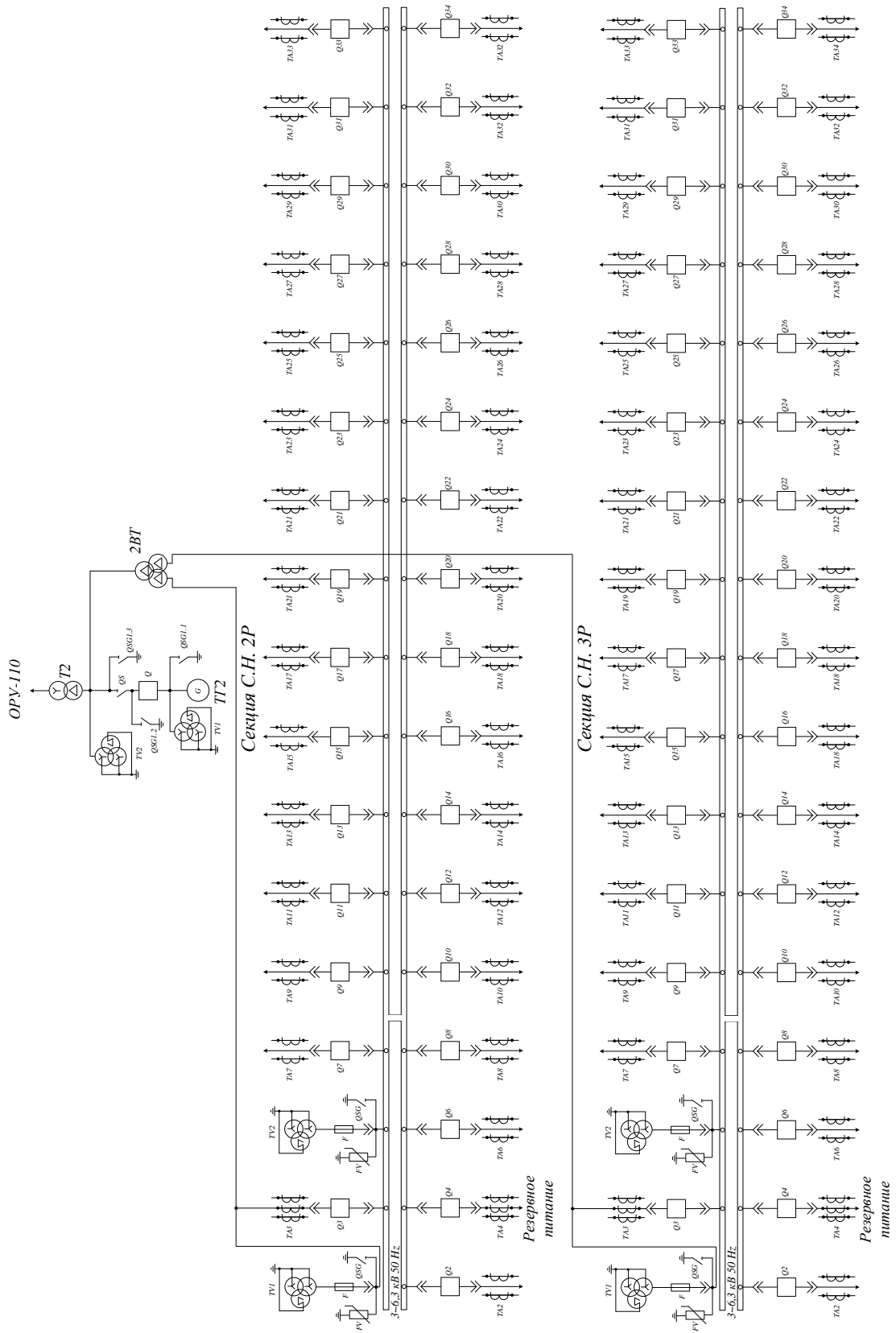


Рисунок 3 - Принципиальная схема электроснабжения второго энергоблока Благовещенской ТЭЦ с отбором мощности на собственные нужды

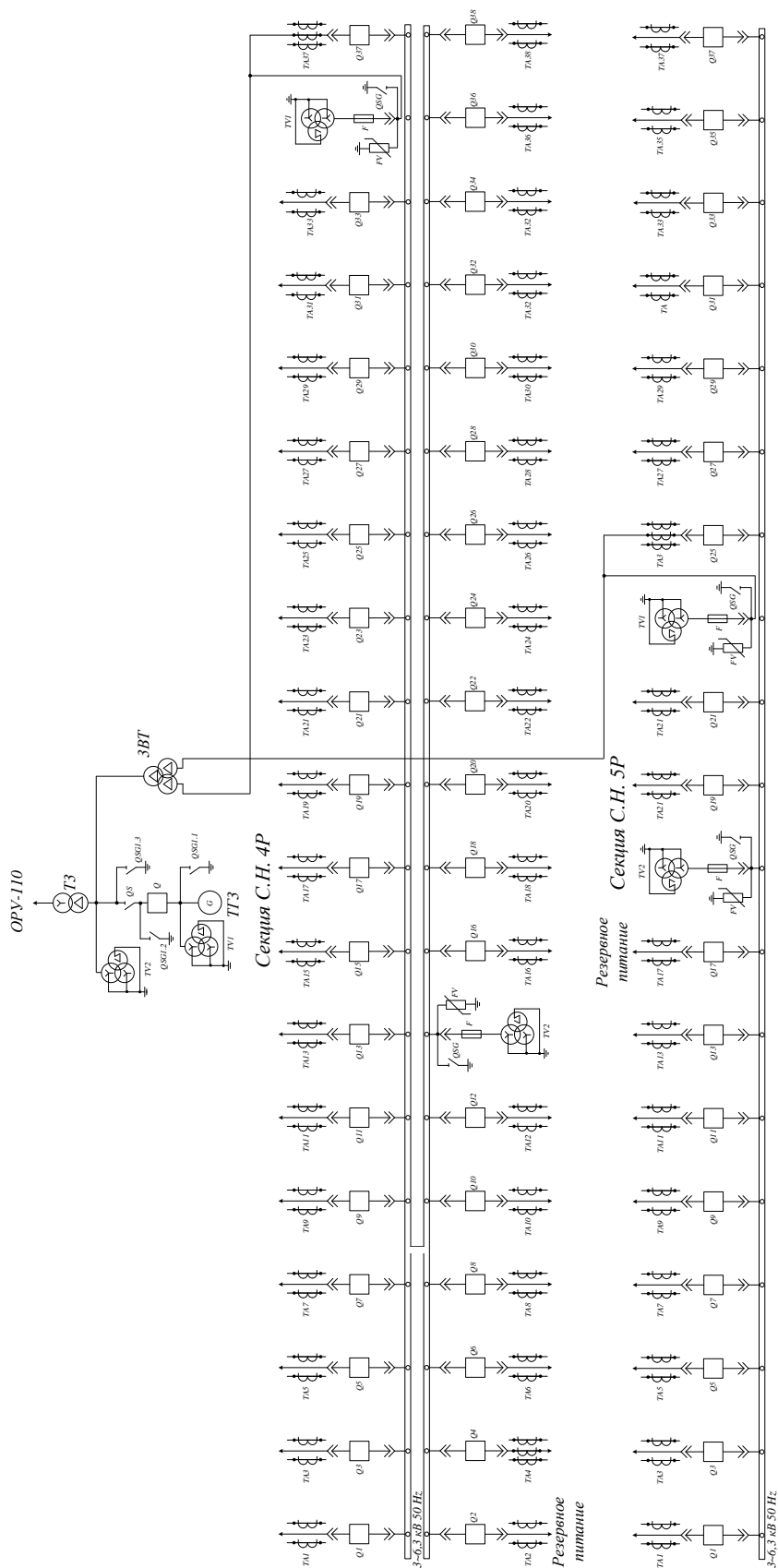


Рисунок 4 - Принципиальная схема третьего энергоблока Благовещенской ТЭЦ с отбором мощности на собственные нужды

## **2.1 Основные недостатки существующей системы электроснабжения багерной насосной станции**

После ввода в эксплуатацию второй очереди Благовещенской ТЭЦ нагрузка на багерную насосную станцию увеличилась значительно, так как до ввода очереди, на насосной станции в работе находилось всего лишь два насоса то теперь в работе находятся четыре насоса, два оставшихся находятся в резерве, при этом если одна пара насосов находится в ремонте то соответственно не возможности включить её. В таком режиме при отключении пары насосов происходит разгрузка станции из-за невозможности выполнять багерной насосной свои функции в полном объеме.

Исходя из вышесказанного делаем вывод что основной недостаток настоящей системы электроснабжения это недостаточная мощность насосных установок, а именно электродвигателей которые там расположены, в данной работе предусматривается заменить электродвигатели с мощностью 630 кВт на 800 кВт это позволит оставлять в работе только одну пару насосов две другие пары будут находиться в резерве и повысят надежность работы станции.

Второй проблемой является отсутствие дополнительной пары преобразователей частоты, поэтому резервная пара насосов не может включаться с регулированием частоты и плавным пуском.

К третьему недостатку относим вышеуказанное устаревшие электрооборудование (выключатели, кабельные линии) которое необходимо заменить на более современное, выход из строя коммутационных аппаратов (либо отказ во включении), кабельных линий, приводит к отключению электрооборудования насосной станции с последующей разгрузкой Благовещенской ТЭЦ по тепловой и электрической мощности.



### 3 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ БАГЕРНОЙ НАСОСНОЙ

#### 3.1 Работа багерной насосной станции

На рисунке 5 представлена технологическая схема работы багерной насосной станции (первого и второго подъема).

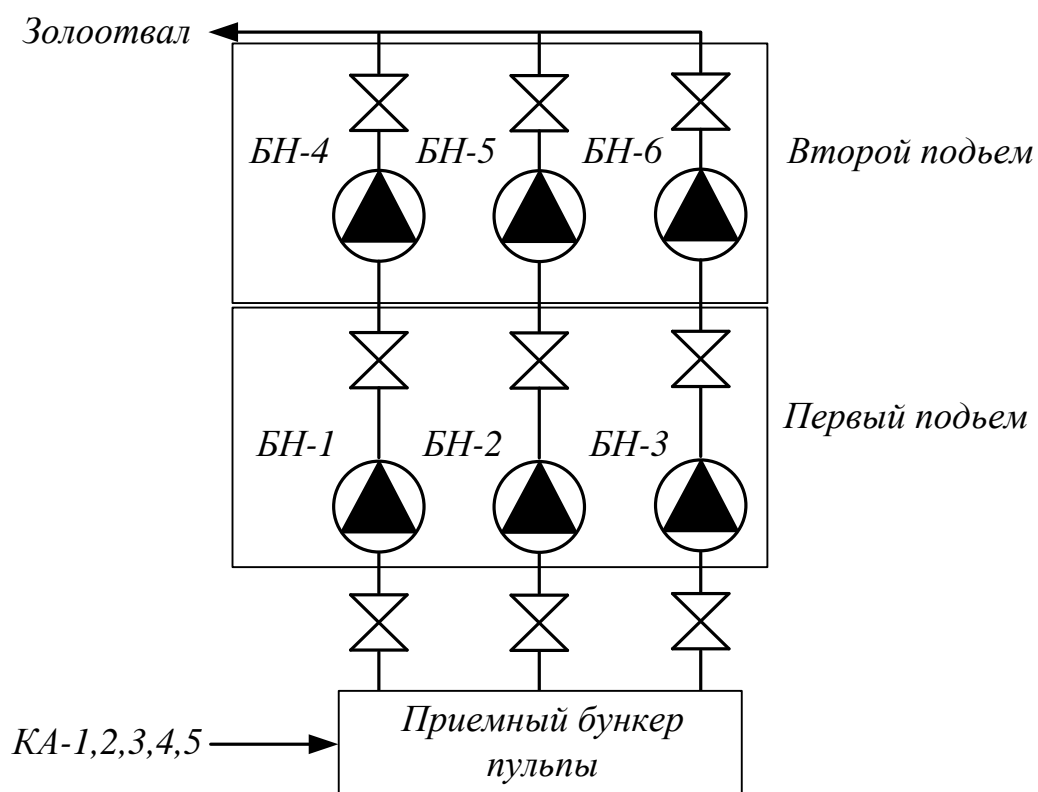


Рисунок 5 – Технологическая схема работы багерной насосной станции

При работе котлоагрегатов на Благовещенск ТЭЦ происходит образование продуктов горения угля - золошлаки, которая должна удаляться в больших объемах на золоотвал. Данный продукт смешивается с технической водой и образуется пульпа, которая посредством пульпопроводов поступает на багерную насосную станцию в приемный бункер пульпы. Из приемного бункера пульпа с помощью багерных насосов откачивается в два этапа и подается на золоотвал.

Работа насосной станции осуществляется с помощью двух подъемов, для ступенчатого повышения давления, которое необходимо для прокачивания пульпы через пульпопроводы.

В настоящее время связи с увеличением тепловой мощности Благовещенская ТЭЦ, после ввода в эксплуатацию второй очереди, в работе постоянно находятся две пары насосов, одна пара насосов может находиться либо в ремонте либо в резерве и включаться в работу при необходимости. Данный факт снижает надежность работы багерной насосной так как отключение одной из пар работающих насосов при условии что вторая пара находится в ремонте приводит к переполнению приёмного бункера пульпы с последующей разгрузкой электростанций по тепловой и электрической мощности что является недопустимым в настоящее время.

В данной работе предусматривается выполнить реконструкцию системы электроснабжения с учетом установки более мощных электродвигателей и соответственно более производительных насосов, эти мероприятия позволят в нормальном режиме оставлять в работе только одну пару насосов, остальные две могут находиться в резерве.

### **3.2 Использование преобразователей частоты**

В настоящее время на багерной насосной станции повсеместно используются специальные преобразователи частоты, которые позволяют выполнить плавный пуск насосов а также регулирование частоты вращения электродвигателей и насосных установок в зависимости от требуемой производительности. Плавный пуск обеспечивает плавное увеличение давления в напорном патрубке что благоприятно способствует на работу как самих электродвигателей так насосных станций позволяя избежать гидравлических ударов, а также пусковых токов, которые в значительной степени снижают ресурсы электродвигателей. Дополнительной особенностью работы насосных станций в паре с преобразователями частоты является регулирование частоты вращения посредством программного обеспечения, при необходимости система

контроля давления регулирует частоту вращения и увеличивает либо уменьшает при необходимости расход технической жидкости через насосы.

В преобразователях частоты имеется значительное количество дополнительных функций таких как защитные: к примеру можно определять ненормальные режимы работы и отключать насосные установки в случае возникновения нештатной ситуации, либо короткого замыкания на электродвигателе или питающей кабельной линии. Встроенный осциллограф в преобразователе частоты позволяет быстро определить место повреждения локализовать его, либо устранить неисправность и включить в работу насосные станции в максимально короткие сроки.

#### 4 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БАГЕРНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Системы электроснабжения промышленных предприятий должны обеспечивать следующее:

- 1) экономичность;
- 2) надежность электроснабжения;
- 3) безопасность и удобство эксплуатации;
- 4) качество электрической энергии;
- 5) гибкость системы (возможность дальнейшего развития),
- 6) максимальное приближение источников питания к электроустановкам потребителей.

Реконструкция системы электроснабжения промышленного объекта должна осуществляться на основе технико-экономического сравнения нескольких вариантов. При реконструкции системы электроснабжения необходимо учитывать категорию приемников электроэнергии. При определении категории следует руководствоваться требованиями ПУЭ. При этом надо избегать необоснованного отнесения электроприемников к более высокой категории.

В данном разделе, на основе анализа проблемных мест существующей системы электроснабжения, рассматриваем новую систему электроснабжения которая учитывает установку преобразователей частоты большей мощности (для электроснабжения электродвигателей 800 кВт), так же учитываем установку дополнительной пары преобразователей частоты для осуществления возможности включение любого насоса от ПЧ. В новой системе электроснабжения предусматривается замена устаревшего оборудования на современное. Однолинейная схема после реконструкции представлена на рисунке 6:

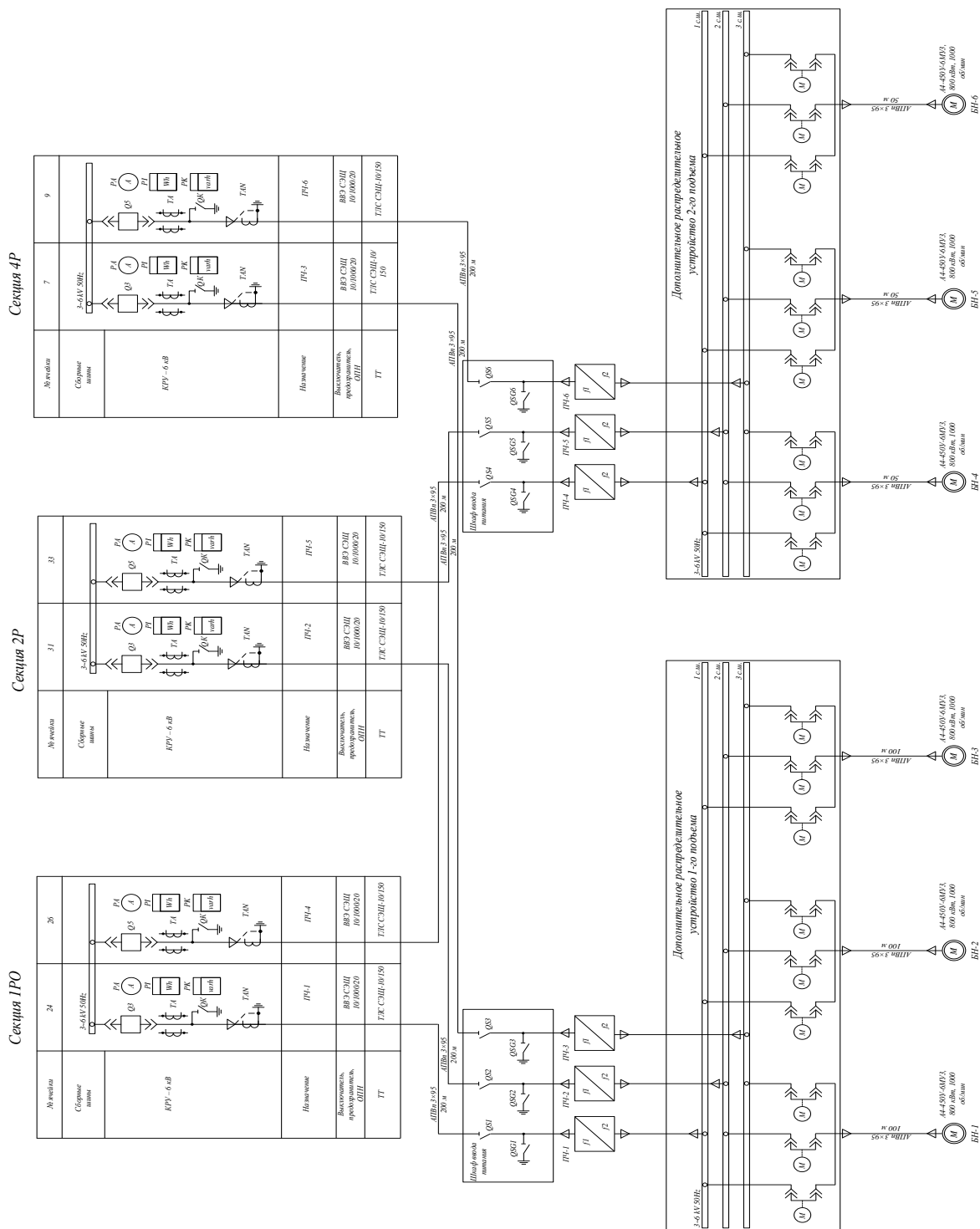


Рисунок 6 – Принципиальная однолинейная схема 6 кВ электроснабжения первого и второго подъема багерной насосной станции после реконструкции

Дополнительно данной работе рассматривается модернизация распределительного устройства собственных нужд в частности секции 2Р, так

как она постоянно находится практически на номинальной нагрузке и поэтому периодически возникают проблемы с нагревом контактных соединений, выходим из строя выключателей рабочих и резервных вводов, а так же присоединений. Поэтому в дальнейших расчетах будет рассмотрен вопрос выбора оборудования для данной секции.

## 5 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ 6 КВ БАГЕРНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

### 5.1 Выбор преобразователей частоты

Выбор новых преобразователей частоты проводим по заданным параметрам подключаемой нагрузки а в частности электродвигателей (принят тип А4-450У-6МУ3) номинальным напряжением 6000 В и номинальной мощностью 800 кВт, частота вращения 1000 об/мин.

Технические характеристики электродвигателей приведены в таблице 2

Таблица 2 – Технические характеристики двигателей 6 кВ

Параметр	Значение
Номинальное напряжение	6000 В
Номинальный ток	94,5 А
Номинальная активная мощность	800 кВт
Частота вращения	1500 об/мин
КПД	95%
cos φ	0,86
Коэффициент использования механизма	0,95

Проводим выбор ПЧ, принимаем тип: СТА-В9.NVI

Технические данные принятого типа ПЧ указаны в таблице 3:

Таблица 3 – Технические характеристики преобразователя частоты

Параметр	Значение
Номинальное напряжение	6000 В
Номинальный выходной ток	100 А
Номинальная полная мощность	1000 кВА
КПД	96%

В данном устройстве установлен входной силовой трансформатор, его паспортные данные указаны в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики входного трансформатора ПЧ

Параметр	Значение
Номинальное напряжение	6000 В
Номинальная полная мощность	1000 кВА
Потери холостого хода	1,6 кВт
Потери короткого замыкания	10,8 кВт
Ток холостого хода	1,0%
Напряжение короткого замыкания	6,0%

Для дальнейшего выбора кабельной линии питающей ПЧ необходимо определить мощность потерь в ПЧ, а так же полную мощность нагрузки включая электродвигатель и потери в ПЧ.

Потери активной мощности во входном трансформаторе определяются по следующей формуле [4]:

$$\Delta P_m = \Delta P_k \cdot k_{факт}^2 + \Delta P_x \quad (1)$$

Потери реактивной мощности в трансформаторе [4]:

$$\Delta Q_m = \frac{u_k \cdot S_n^2}{100 \cdot S_{тном}} + \frac{I_x \cdot S_{тном}}{100} \quad (2)$$

где  $S_n$  - расчетная полная мощность нагрузки

$Q_n$  - расчетная реактивная мощность нагрузки

$u_k$  - напряжение короткого замыкания выбранного трансформатора

$I_x$  - ток холостого хода выбранного трансформатора

$\Delta P_x, \Delta P_k$  - потери активной мощности в режиме холостого хода и короткого замыкания выбранного трансформатора (кВт)

$\Delta Q_x$  - потери реактивной мощности в режиме холостого хода выбранного трансформатора

Приводим расчет для данных условий:

$$\Delta P_m = 10,8 \cdot \left( \frac{800 \cdot 0,95}{0,86 \cdot 1000} \right)^2 + 1,6 = 10,41 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_m = \frac{6,0 \cdot (800/0,86)^2}{100 \cdot 1000} + \frac{1,0 \cdot 1000}{100} = 56,78 \text{ (квар)}$$

Определяем полную мощность потерь мощности в трансформаторах ПЧ:

$$\Delta S_m = \sqrt{\Delta P_m^2 + \Delta Q_m^2} \quad (3)$$

$$\Delta S_m = \sqrt{10,41^2 + 56,78^2} = 58,55 \text{ (кВА)}$$

Определяем суммарную мощность нагрузки.

$$P_{\text{сум}} = P_p + \Delta P_m \quad (4)$$

$$Q_{\text{сум}} = Q_p + \Delta Q_m \quad (5)$$

$$S_{\text{сум}} = \sqrt{P_{\text{сум}}^2 + Q_{\text{сум}}^2} \quad (6)$$

где  $P_p$  - расчетная активная мощность нагрузки электродвигателя с учетом коэффициента использования;

$Q_p$  - расчетная реактивная мощность нагрузки электродвигателя с учетом коэффициента использования.



$$P_{\text{сум}} = \frac{800 \cdot 0,95}{0,86} + 10,41 = 894,13 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{сум}} = 800 \cdot 0,59 \cdot 0,95 + 56,78 = 505,18 \text{ (квар)}$$

$$S_{\text{сум}} = \sqrt{894,13^2 + 505,18^2} = 1026,98 \text{ (кВА)}$$

## 5.2 Выбор кабельных линий 6 кВ для питания ПЧ и эл. двигателей

В данном разделе проводится расчет и выбор типа и сечения кабельных линий для питания ПЧ и электро двигателей первого и второго подъёма багерной насосной станции.

Сечения кабельных линий электропередачи выбираются по условиям нагрева токами нагрузки с последующей проверкой:

- по термической стойкости от воздействия токов короткого замыкания;
- по допустимой потере напряжения при нормальном режиме работы.

Для выбора сечений линий КЛ 6 кВ определяется суммарный расчетный ток и выбирается стандартное сечение соответствующее ближайшему большему длительно допустимому току.

Выбор по длительно допустимому току сводится к сравнению расчетного тока с длительно допустимым:

$$I_p \leq I_{\text{дд}} \quad (7)$$

где  $I_p$  – расчетный ток в сечении;

$I_{\text{дд}}$  – длительно допустимый ток для определенного типа проводника, определяется по следующему выражению:

$$I_{\text{дд}} = I_{\text{дон}} \cdot k_{\text{ср}} \cdot k_{\text{сн}} \cdot k_{\text{нов}} \quad (8)$$

где  $I_{\text{дон}}$  – допустимый длительный ток одиночного проводника.

$k_{\text{ср}}$  – коэффициент учитывающий температуру среды отличную от расчетной;

$k_{сн}$  – коэффициент снижения токовой нагрузки при групповой прокладке кабелей

$k_{пов}$  – коэффициент повышения допустимого тока при недогрузке отдельных кабелей.

Расчетный ток в сечении определяется по выражению:

$$I_P = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (9)$$

где  $S_p$  - расчетная мощности в сечении кабельной линии;

$U_n$  - номинальное линейное напряжение кабеля;

Для примера проводим расчет сечения кабельной линии для питания ПЧ-1 (питание осуществляется от секции 1РО), определяем расчетный ток в сечении с учетом потерь мощности в ПЧ:

$$I_P = \frac{1026,98}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 94,77 \text{ (А)}$$

Для полученного значения подбираем соответствующее сечение кабеля по длительно допустимому току. Принимаем на данном участке кабель типа АПВп 3×50 с изоляцией из сшитого полиэтилена и алюминиевыми жилами, длительно допустимым током 159 А, прокладка кабеля осуществляется в кабельных лотках, следовательно вводятся поправочные коэффициенты на длительно допустимый ток, коэффициент снижения токовой нагрузки при групповой прокладке кабелей принимается равным 0,8. Следовательно длительно допустимый ток для данного проводника составит:

$$I_{\partial\partial} = 159,0 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 127,2 \text{ (А)}$$

Проверяем условие:

$$I_P \leq I_{\partial\partial} \quad (10)$$

$$94,77 \leq 127,2$$

Условие выполняется следовательно кабель превосходит предварительную проверку.

АПВп – современный тип кабеля имеющий изоляцию состоящую из сшитого полиэтилена. По пропускной способности эти кабели значительно превосходят кабели маслonaполненные с бумажной изоляцией. По международным стандартам кабель рассчитан на работу в длительно допустимом режиме при температуре жилы 90°C, а в послеаварийном режиме и при более высокой температуре, в то время как кабели маслonaполненные с бумажной изоляцией допускают нагрев лишь до 70°C. Достоинством кабеля с СПЭ-изоляцией является его экологическая безопасность. Отсутствие жидких включений обеспечивает сохранение чистоты окружающей среды, что позволяет прокладывать кабель на любых объектах и эксплуатировать кабельные линии практически без обслуживания.

Аналогично проводится выбор марки и сечения кабельных линий на остальных участках, результаты расчета приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор типа и сечений КЛ 6 кВ

Участок	$S_p$ (кВА)	$I_p$ (А)	Марка и сечение проводника	$I_{\text{до}}$ (А)
Сек 1РО – ПЧ-1	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
Сек 1РО – ПЧ-4	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
Сек 2Р – ПЧ-2	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
Сек 2Н – ПЧ-5	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
Сек 4Р – ПЧ-2	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
Сек 4Р – ПЧ-6	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-1 – Доп. РУ 1 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-2 – Доп. РУ 1 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-3 – Доп. РУ 1 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-4 – Доп. РУ 2 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-5 – Доп. РУ 2 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-6 – Доп. РУ 2 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 1 подъем – БН-1	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 1 подъем – БН-2	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2

### Продолжение таблицы 5

Участок	$S_p$ (кВА)	$I_p$ (А)	Марка и сечение проводника	$I_{\text{до}}$ (А)
Доп. РУ 1 подъем – БН-3	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 2 подъем – БН-4	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 2 подъем – БН-5	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 2 подъем – БН-6	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2

Так же выбор приведен в приложении А

Выбранное сечение проводников является минимальным для данного типа кабеля, поэтому принимается одинаковый тип для всех присоединений. Выбор сечений так же приведен в приложении А.

### 5.3 Выбор вводных шкафов 6 кВ

Проводим выбор вводных шкафов для питания преобразователей частоты, выбираем шкаф КСО-304, с установленным внутри разъединителями заземляющими ножами в сторону присоединения, сравнение паспортных и расчетных данных представлено в таблице 6:

Таблица 6 – Выбор шкафа ввода питания ПЧ

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ (кВ)	6	6	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}$
Номинальный ток $I_{\text{ном}}$ (А)	630	94,77	$I_{\text{ном}} \geq I_p$

## 6 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ НИЗКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БАГЕРНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

В данном разделе проводится разработка низковольтной системы электроснабжения багерной насосной станции (первого и второго подъёма).

### 6.1 Данные о потребителях 0,4 кВ

К основным объектам в которых расположено рассматриваемое оборудование 0,4 кВ (электроприемники) являются:

- помещение машинного зала первого подъема
- помещение машинного зала второго подъема

- помещение дополнительных распределительных устройств и преобразователей частоты.

Рассмотрим подробно потребителей которые расположены в данных помещениях, данные о них представлены в таблице 7, 8, 9

Таблица 7 – Данные о потребителях 0,4 кВ машинного зала первого подъема

Потребитель	Количество	Номинальная мощность (кВт)	Коэффициент использования	Коэффициент мощности cos φ
Электродвижка на напоре	3	3,0	0,5	0,84
Электродвижка на всасе	3	3,0	0,5	0,84
Секционная задвижка	4	1,5	0,5	0,84
Калорифер	1	3,0	0,9	0,84
Кран-балка	1	1×1,5+2×0,55	0,1	0,75

Таблица 8 – Данные о потребителях 0,4 кВ машинного зала второго подъема

Потребитель	Количество	Номинальная мощность (кВт)	Коэффициент использования	Коэффициент мощности cos φ
Электродвижка на напоре	3	3,0	0,5	0,84
Электродвижка на всасе	3	3,0	0,5	0,84
Секционная задвижка	4	1,5	0,5	0,84
Калорифер	1	3,0	0,9	0,84
Кран балка	1	1×1,5+2×0,55	0,1	0,75

Таблица 9 – Данные о потребителях 0,4 кВ помещение дополнительных распределительных устройств и преобразователей частоты.

Потребитель	Количество	Номинальная мощность (кВт)	Коэффициент использования	Коэффициент мощности cos φ
Вытяжной вентилятор	4	1,5	0,95	0,86
Система охлаждения ПЧ	18	0,55	0,98	0,83
Система приточной вентиляции	3	1,5	0,95	0,86
Освещение	8	0,4	1	0,82
Обогреватель	6	2	1	1
Эл. привод дополнительного РУ	18	0,18	0,2	0,82

Продолжение таблицы 9

Потребитель	Количество	Номинальная мощность (кВт)	Коэффициент использования	Коэффициент мощности $\cos \varphi$
Система управления ПЧ	6	0,5	1	0,45

## 6.2 Расчет низковольтной нагрузки 0,4 кВ

В дальнейшем при выборе оборудования распределительных устройств для питания всех указанных потребителей необходимо провести расчет электрических нагрузок, в данном разделе проводим расчет отдельно для каждой группы, условно разделяем всех потребителей на 3 группы (в соответствии с помещениями).

Расчет нагрузки проводим через коэффициент использования механизма, предварительно определяем групповой коэффициент использования [3]:

$$k_{grp} = \frac{\sum k_{ui} \cdot P_{номi}}{\sum P_{номi}} \quad (11)$$

где  $k_{ui}$  - коэффициент использования отдельного электроприемника

$P_{номi}$  - номинальная активная мощность отдельного электроприемника

Эффективное количество электроприемников:

$$N_{\text{э}} = \frac{(\sum n_i \cdot P_{номi})^2}{\sum n_i \cdot P_{номi}^2} \quad (12)$$

где  $n_i$  - количество электроприемников в группе.

Средняя мощность рассматриваемой группы электроприемников:

$$P_{cp} = \sum k_{ui} \cdot P_{номi} \quad (13)$$

Определяем коэффициент расчетной нагрузки (по справочным данным) и далее определяется расчетная активная мощность нагрузки:

$$P_p = P_{cp} \cdot k_p \quad (14)$$

Значение средней реактивной мощности:

$$Q_{cp} = \sum k_{ui} \cdot P_{номi} \cdot tg\varphi_i \quad (15)$$

Расчетная реактивная мощность определяется в зависимости от эффективного количества электроприемников:

$$Q_p = k \cdot Q_{cp} \quad (16)$$

Полная расчетная мощность нагрузки группы потребителей:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (17)$$

Для примера проводим расчет характеристик мощности на примере первой группы (помещение машинного зала первого подъема)

Определяем групповой коэффициент использования [3]:

$$k_{изп} = \frac{6 \cdot 3 \cdot 0,5 + 4 \cdot 1,5 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,9 + 1,5 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,55 \cdot 0,1}{6 \cdot 3 + 4 \cdot 1,5 + 3 + 1,5 + 2 \cdot 0,55} = 0,51$$

Эффективное количество электроприемников:

$$N_s = \frac{(6 \cdot 3)^2 + (4 \cdot 1,5)^2 + (3)^2 + (1,5)^2 + (2 \cdot 0,55)^2}{6 \cdot 3^2 + 4 \cdot 1,5^2 + 3^2 + 1,5^2 + 2 \cdot 0,55^2} = 11,8 \text{ (шт.)}$$

Средняя мощность рассматриваемой группы электроприемников:

$$P_{cp} = 6 \cdot 3 \cdot 0,5 + 4 \cdot 1,5 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,9 + 1,5 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,55 \cdot 0,1 = 14,96 \text{ (кВт)}$$

Расчетный коэффициент нагрузок определяется по справочным данным:

$$k_p = 1,05$$

Расчетная активная мощность нагрузки:

$$P_p = 14,96 \cdot 1,05 = 15,71 \text{ (кВт)}$$

Средняя мощность рассматриваемой группы электроприемников:

$Q_{cp} = 6 \cdot 3 \cdot 0,5 \cdot 0,65 + 4 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,65 + 3 \cdot 0,9 \cdot 0,65 + 1,5 \cdot 0,1 \cdot 0,88 + 2 \cdot 0,55 \cdot 0,1 \cdot 0,88 = 9,73$   
(квар)

Расчетная реактивная мощность нагрузки при эффективном количестве электроприемников более 10 равна средней:

$$Q_p = Q_{cp} = 9,73 \text{ (квар)}$$

Полная расчетная мощность нагрузки первой группы потребителей:

$$S_p = \sqrt{15,71^2 + 9,73^2} = 18,48 \text{ (кВА)}$$

Аналогично проводим расчет для остальных групп с занесением результатов в таблицу 10:

Таблица 10 – Данные о нагрузках 0,4 кВ

Группа	$k_{изр}$	$N_o$ (шт.)	$P_{cp}$ (кВт)	$P_p$ (кВт)	$Q_{cp}$ (квар)	$Q_p$ (квар)	$S_p$ (кВА)
№1 (машинный зал первого подъема)	0,51	11,8	14,96	15,71	9,73	9,73	18,48
№2 (машинный зал второго подъема)	0,51	11,8	14,96	15,71	9,73	9,73	18,48
№3 (помещение дополнительных распределительных устройств и преобразователей частоты.)	0,92	29,19	38,55	40,45	24,42	24,42	47,25

Полученные данные используем при выборе необходимого оборудования 0,4 кВ.

### 6.3 Разработка схемы электроснабжения групп потребителей 0,4 кВ

В настоящее время основной проблемой встречающейся в системе электроснабжения 0,4 кВ БТЭЦ является выход из строя оборудования из-за физического износа, периодически происходят отказы на коммутационном оборудовании, кабельных линиях и другом оборудовании при этом схемная надежность соответствует второй категории надежности: для каждой группы потребителей предусмотрено питание от силового шкафа и имеют двухстороннее питание с наличием автоматики ввода резерва. Поэтому в



данной работе предусматривается выполнить замену оборудования системы электроснабжения на более современное, при этом схема питания потребителей остается неизменной. Принципиальная однолинейная схема электроснабжения представлена на рисунке 7.

В рассматриваемой системе электроснабжения питание каждого шкафа осуществляется от секций 2Н и 5Н, при этом в нормальном режиме КМ1 находится во включённом положении (приоритет питания осуществляется от него), КМ2 отключен, при исчезновении питания от КМ1 происходит автоматическое включение КМ2, перерыв в электроснабжении имеет минимальное время.

Питание каждого шкафа осуществляется кабельными линиями электропередачи со стороны помещения РУСН Главного корпуса БТЭЦ (2 очередь). В роли защитных аппаратов в шкафах установлены вводные автоматические выключатели предназначенные для отключения токов короткого замыкания в случаях повреждения изоляции и ненормальных режимов работы.

#### **6.4 Выбор кабельных линий 0,4 кВ**

В данном разделе проводим расчет сечения проводников и выбор типа кабеля для питания потребителей собственных нужд 0,4 кВ Багерной насосной станции. Как указывалось ранее, принято решение о замене устаревших типов проводников, т.е. кабельных линий электропередачи, в частности номинальным напряжением 0,4 Кв, на более современные.

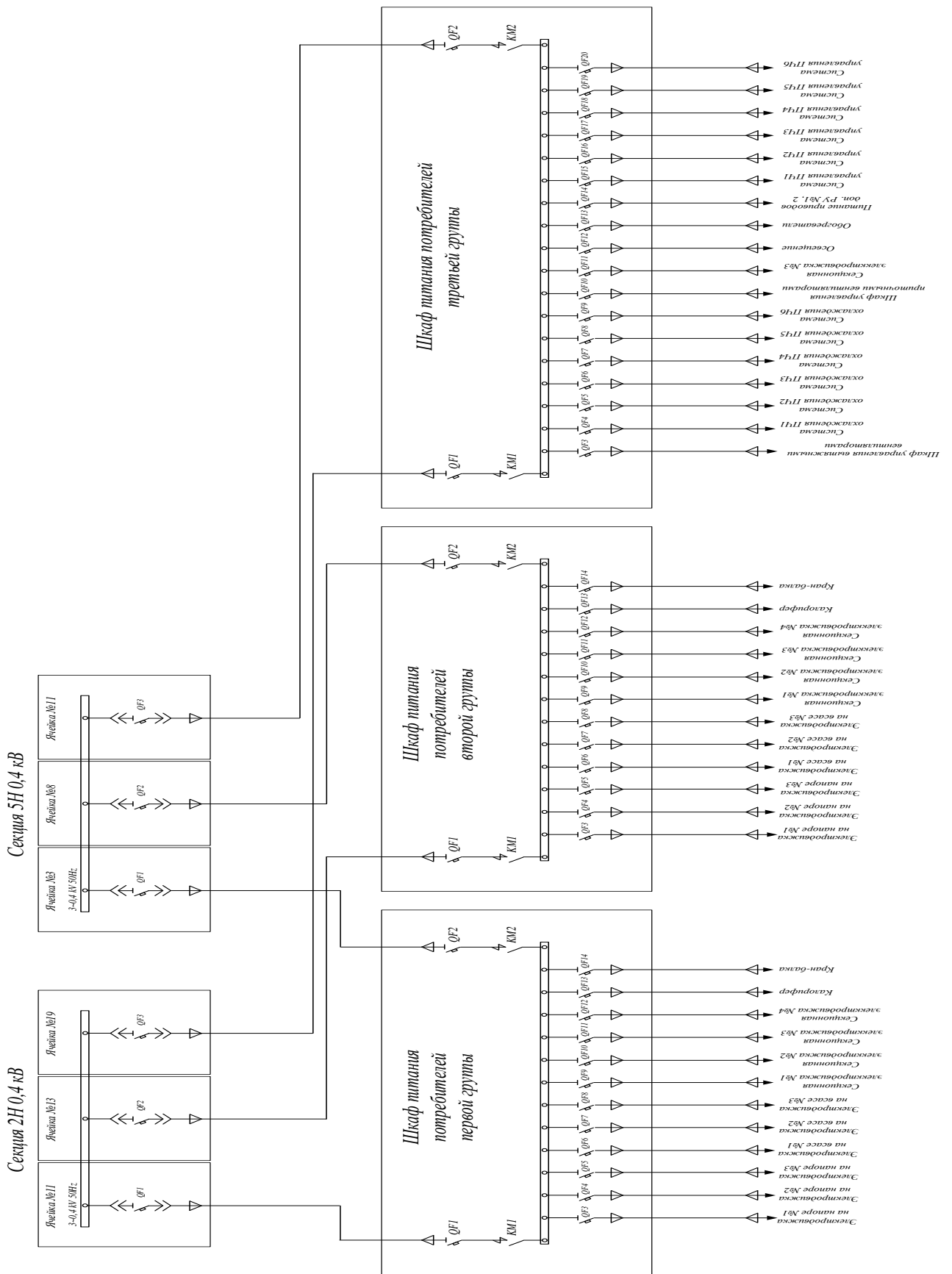


Рисунок 7 – Принципиальная однолинейная схема 0,4 кВ электроснабжения первого и второго подъема багерной насосной станции после реконструкции

Сечения кабельных линий электропередачи выбираются по условиям нагрева токами нагрузки с последующей проверкой:

- по термической стойкости от воздействия токов короткого замыкания;
- по потере напряжения.

Для выбора сечений линий КЛ 0,4 кВ определяется расчетный ток и выбирается стандартное сечение, соответствующее ближайшему большему значению по длительно допустимому току.

Выбор по длительно допустимому току сводится к сравнению расчетного тока с длительно допустимым:

$$I_p \leq I_{\text{дд}} \quad (18)$$

где  $I_p$  – расчетный ток в сечении;

$I_{\text{дд}}$  – длительно допустимый ток для определенного типа проводника

Длительно допустимый ток КЛ определяется по следующему выражению:

$$I_{\text{дд}} = I_{\text{дон}} \cdot k_{\text{ср}} \cdot k_{\text{сн}} \quad (19)$$

где  $I_{\text{дон}}$  – допустимый длительный ток одиночного проводника;

$k_{\text{ср}}$  – коэффициент учитывающий температуру среды отличную от расчетной;

$k_{\text{сн}}$  – коэффициент снижения токовой нагрузки при групповой прокладке кабелей;

Расчетный ток в сечении определяется по выражению:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (20)$$

где  $S_p$  - расчетная мощности в сечении кабельной линии;

$U_n$  - номинальное линейное напряжение кабеля;

Для примера проводим расчет сечения кабеля для шкафа питания потребителей первой группы (расчетная полная мощность определена ранее):

$$I_p = \frac{18,48}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 26,67 \text{ (A)}$$

Для полученного значения подбираем соответствующее сечение кабеля.

Принимаем на данном участке кабель типа АВВГнг 4×16 с виниловой изоляцией и алюминиевыми жилами, с длительно допустимым током 67А, прокладка кабеля осуществляется в кабельном лотке в группе с другими кабелями, следовательно, вводится поправочный коэффициент на длительно допустимый ток. Длительно допустимый ток для данного проводника составит:

$$I_{до} = 67,0 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 1 = 61,64 \text{ (A)}$$

Длительно допустимый ток выбранного типа кабеля больше расчетного в данном сечении, следовательно, этот тип кабеля принимается.

Результаты расчета и выбора кабельных линий для остальных потребителей приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Выбор кабелей 0,4 кВ

Наименование потребителей	$I_p$ (A)	Марка кабеля и сечение	Ном. ток (A)	$I_{до}$ (A)
Шкаф питания потребителей первой группы (1-е питание)	26,67	АВВГнг 4×16	67,0	61,64
Шкаф питания потребителей первой группы (2-е питание)	26,67	АВВГнг 4×16	67,0	61,64
Шкаф питания потребителей второй группы (1-е питание)	26,67	АВВГнг 4×16	67,0	61,64
Шкаф питания потребителей второй группы (2-е питание)	26,67	АВВГнг 4×16	67,0	61,64
Шкаф питания потребителей третьей группы (1-е питание)	68,2	АВВГнг 4×25	80,0	73,6
Шкаф питания потребителей третьей группы (2-е питание)	68,2	АВВГнг 4×25	80,0	73,6

Так же выбор кабельных линий приведен в приложении Б.

Все кабели 0,4 кВ прошли проверку по длительному току далее проводим проверку по термической стойкости.

## 6.5 Расчет токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ

Расчет проводим на примере расчетной точки короткого замыкания в конце кабельной линии шкафа питания потребителей первой группы, питание в нормальном режиме осуществляется от сек 2Н на которой установлен трансформатор ТСЗ -1600/6/0,4, расчетная схема для определения токов КЗ представлена на рисунке 8 слева, схема замещения справа:

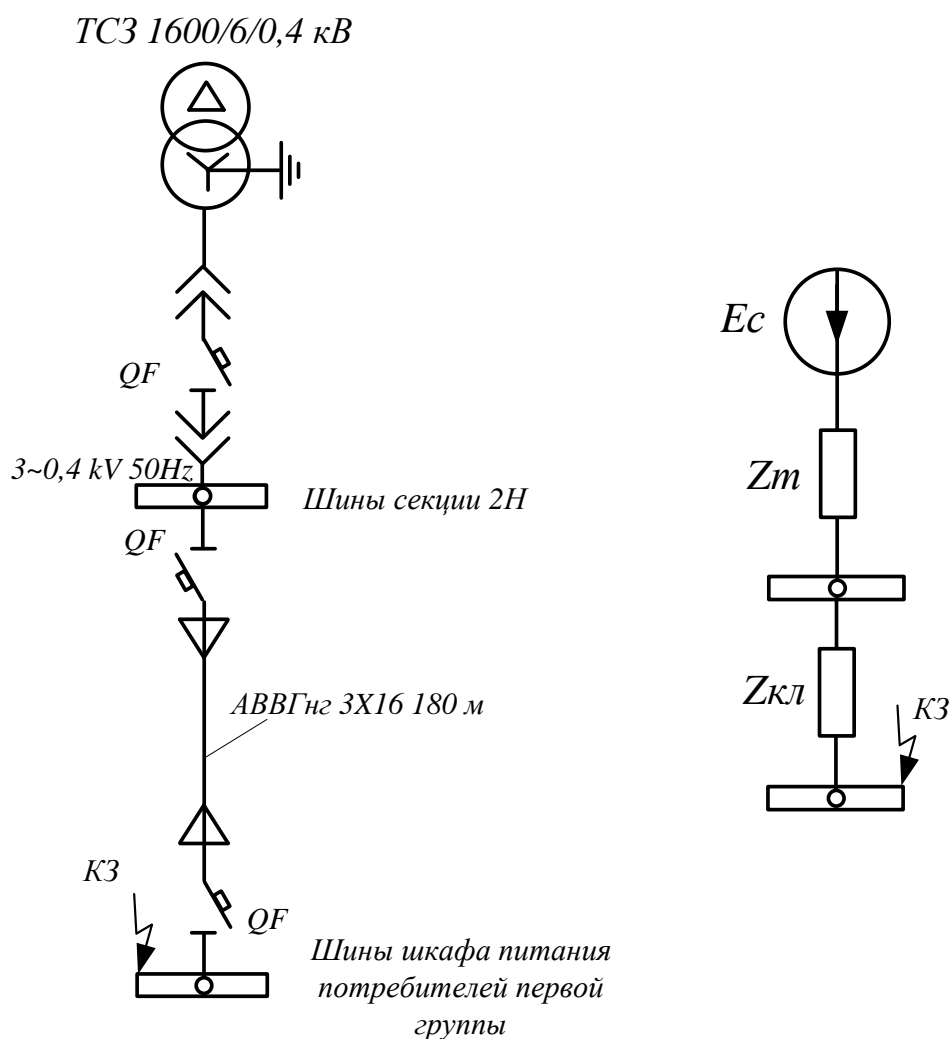


Рисунок 8 – Расчетная схема и схема замещения

Ток трехфазного короткого замыкания в рассматриваемой точке определяется как:

$$I_{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_p^2 + X_p^2}} \quad (21)$$

где  $R_p, X_p$  - результирующее и активное сопротивление до точки КЗ;

$U_{cp}$  - напряжение среднего ряда (В);

Результирующее активное сопротивление определяется как:

$$R_p = R_m + R_{кл} \quad (22)$$

где  $R_m$  - активное сопротивление трансформатора (Ом);

$R_{кл}$  - активное сопротивление кабельной линии (Ом);

Результирующее реактивное сопротивление определяется как:

$$X_p = X_m + X_{кл} \quad (23)$$

где  $X_m$  - реактивное сопротивление трансформатора (Ом);

$X_{кл}$  - реактивное сопротивление кабельной линии (Ом);

Сопротивление трансформатора:

$$R_m = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{cp}^2}{S_{ном}^2} \quad (24)$$

где  $\Delta P_{кз}$  - потери короткого замыкания.

$$X_m = \frac{u_p \cdot U_{cp}^2}{S_{ном}} \quad (25)$$

где  $u_p$  - Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора:

$$u_p = \sqrt{u_k - \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100}{S_{ном}}} \quad (26)$$

где  $u_p$  - Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора

Сопротивление кабельной линии (фазного провода):

$$R_\phi = r_0 \cdot L \quad (27)$$

$$X_\phi = x_0 \cdot L \quad (28)$$

где  $r_0, x_0$  - удельное активное и реактивное сопротивление кабельной линии (Ом/км);

$L$  - протяженность кабельной линии (км).

Ток однофазного короткого замыкания в рассматриваемой точке определяется как:

$$I^{(1)} = \frac{1,05 \cdot U_\phi}{Z_n + \frac{Z_m}{3}} \quad (29)$$

где  $U_\phi$  - фазное напряжение (В);

$Z_n$  - полное сопротивление петли фазного и нулевого провода (Ом);

$\frac{Z_m}{3}$  - полное сопротивление трансформатора замыканию на землю (Ом);

Полное сопротивление петли фазного и нулевого провода определяется как:

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_N)^2 + (X_\phi + X_N)^2} \quad (30)$$

где  $R_\phi, X_\phi$  - сопротивления фазного провода (Ом);

$R_N, X_N$  - сопротивления нулевого провода (Ом).

Определяем сопротивления на рассматриваемом участке сети:

Сопротивление трансформатора:

$$R_m = \frac{3,1 \cdot 400^2}{1600^2} = 0,001 \text{ (Ом)}$$

$$X_m = \frac{2,4 \cdot 400^2}{100 \cdot 1600} = 0,004 (\text{Ом})$$

$$u_p = \sqrt{6 - \frac{3,1 \cdot 100}{1600}} = 2,4 (\%)$$

Сопротивление кабельной линии (фазного провода):

$$R_\phi = 1,98 \cdot \frac{180}{1000} = 0,36 (\text{Ом})$$

$$X_\phi = 0,07 \cdot \frac{180}{1000} = 0,01 (\text{Ом})$$

Сопротивление кабельной линии (нулевого провода):

$$R_N = 1,98 \cdot \frac{180}{1000} = 0,36 (\text{Ом})$$

$$X_N = 0,07 \cdot \frac{180}{1000} = 0,01 (\text{Ом})$$

Определяем результирующее сопротивление до точки КЗ.

$$R_p = 0,001 + 0,36 = 0,361 (\text{Ом})$$

$$X_p = 0,004 + 0,01 = 0,014 (\text{Ом})$$

Ток трехфазного короткого замыкания в рассматриваемой точке:

$$I_{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,361^2 + 0,014^2}} = 0,64 (\text{кА})$$

Полное сопротивление петли фазного и нулевого провода:

$$Z_n = \sqrt{(0,36 + 0,36)^2 + (0,01 + 0,01)^2} = 0,72 (\text{Ом})$$

Полное сопротивление трансформатора замыканию на землю определяем по справочным данным:

$$\frac{Z_m}{3} = 0,016 (\text{Ом})$$



Ток однофазного короткого замыкания в рассматриваемой точке:

$$I_{(1)} = \frac{1,05 \cdot 230}{0,72 + 0,016} = 0,33 \text{ (кА)}$$

По аналогии проводим расчёт для остальных присоединений всех рассматриваемых РУ, результаты сводим в таблицу 12.

Таблица 12 – Расчет токов короткого замыкания 0,4 кВ

Наименование потребителей	Длина (м)	Марка кабеля и сечение	$I_{(3)}$ (кА)	$I_{(1)}$ (кА)
Шкаф питания потребителей первой группы (1-е питание)	180	АВВГнг 4×16	0,64	0,33
Шкаф питания потребителей первой группы (2-е питание)	180	АВВГнг 4×16	0,64	0,33
Шкаф питания потребителей второй группы (1-е питание)	200	АВВГнг 4×16	0,61	0,31
Шкаф питания потребителей второй группы (2-е питание)	200	АВВГнг 4×16	0,61	0,31
Шкаф питания потребителей третьей группы (1-е питание)	220	АВВГнг 4×25	0,79	0,45
Шкаф питания потребителей третьей группы (2-е питание)	220	АВВГнг 4×25	0,79	0,45

Далее проводим расчет термически стойкого сечения.

### 6.6 Проверка кабельных линий 0,4 кВ

Первоначально проводим проверку по термической стойкости

Выполняем проверку выбранных сечений кабельных линий по термической стойкости, термически стойкое к току КЗ сечение линий находим по формуле:

$$S_t = \sqrt{\frac{B_k \cdot 1000}{c_t}} \quad (31)$$

где  $B_k$  - тепловой импульс тока короткого замыкания;

$c_t$  - температурный коэффициент для кабелей с алюминиевыми жилами.

$$B_k = I_{(3)}^2 \cdot (t_{OB} + T_a) \quad (32)$$

где  $t_{OB}$  – время отключения выключателя.

$T_a$  – постоянная времени.

Проводим расчет постоянной времени для рассматриваемой точки КЗ по следующей формуле:

$$T_a = \frac{X_p}{R_p \cdot \omega}$$

где  $\omega$  – угловая частота (рад/с).

$$T_a = \frac{0,014}{0,361 \cdot 314} = 0,001$$

Проводим расчет теплового импульса на примере точки короткого замыкания рассмотренной ранее

$$B_k = 0,64^2 \cdot (0,5 + 0,001) = 0,2 (\text{кА}^2\text{с})$$

Определяем термически стойкое сечение:

$$S_i = \sqrt{\frac{0,2 \cdot 1000}{94}} = 1,41 (\text{мм}^2)$$

Фактическое сечение должно быть равным или более термически стойкого сечения, следовательно кабель проходит проверку, далее проводим аналогичный расчет для остальных кабелей, сводим результаты в таблицу 13.

Таблица 13 – Проверка кабельных линий по термической стойкости

Наименование потребителей	Марка кабеля и сечение	$B_k$ (кА <sup>2</sup> с)	$S_i$ (мм <sup>2</sup> )
Шкаф питания потребителей первой группы (1-е питание)	АВВГнг 4×16	0,2	1,41
Шкаф питания потребителей первой группы (2-е питание)	АВВГнг 4×16	0,2	1,41
Шкаф питания потребителей второй группы (1-е питание)	АВВГнг 4×16	0,18	1,37
Шкаф питания потребителей второй группы (2-е питание)	АВВГнг 4×16	0,18	1,37
Шкаф питания потребителей третьей группы (1-е питание)	АВВГнг 4×25	0,31	1,82
Шкаф питания потребителей третьей группы (2-е питание)	АВВГнг 4×25	0,31	1,82

Все кабели прошли проверку по термической стойкости, далее проводим проверку на потерю напряжения.

Потеря напряжения в участке КЛ определяется по следующей формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{U_n} \quad (33)$$

где  $r_0$  – погонное активное сопротивление Ом/км;

$x_0$  – погонное реактивное сопротивление Ом/км.

Расчет проводим на примере участка от сек 2Н до шкафа питания потребителей первой группы:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 26,67 \cdot 0,18 \cdot (0,98 \cdot 0,92 + 0,07 \cdot 0,34) \cdot \frac{100}{400} = 1,92(\%)$$

Сравниваем полученное значение с допустимой потерей напряжения которая составляет 5%, делаем вывод о том, что кабельная линия проходит проверку и замена сечения кабеля не требуется, далее проводим аналогичную проверку для остальных участков, заносим результаты в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет потерь напряжения на каждом фидере

Участок	$\Delta U$ (%)
Сек 2Н - Шкаф питания потребителей первой группы (1-е питание)	1,92
Сек 5Н Шкаф питания потребителей первой группы (2-е питание)	1,92
Сек 2Н - Шкаф питания потребителей второй группы (1-е питание)	2,02
Сек 5Н Шкаф питания потребителей второй группы (2-е питание)	2,02
Сек 2Н - Шкаф питания потребителей третьей группы (1-е питание)	1,52
Сек 5Н Шкаф питания потребителей третьей группы (2-е питание)	1,52

Проводники проходят проверку по потере напряжения расчет окончен.

### 6.7 Выбор и проверка АВ 0,4 кВ

В данном разделе проводим выбор вводных автоматических выключателей в шкафах питания потребителей первой, второй и третьей групп.

Выбор автоматических выключателей на отходящих линиях производится исходя из следующих условий:

- соответствие номинального напряжения автоматического выключателя номинальному напряжению сети [17]:

$$U_{\text{выкл}} \geq U_{\text{сети}} \quad (34)$$

- номинальный ток теплового расцепителя должен быть равен или более наибольшего расчетного тока нагрузки, длительно протекающего по защитному элементу:

$$I_{\text{ном.т.р.}} \geq I_p \quad (35)$$

- проверка по току электромагнитного расцепителя при трехфазном КЗ:

$$\frac{I_{(3)}}{I_{\text{расц}}} \geq 1,25 \quad (36)$$

где  $I_{(3)}$  - ток трехфазного короткого замыкания;

- проверка по току электромагнитного расцепителя при однофазном КЗ:

$$\frac{I_{(1)}}{I_{\text{расц}}} \geq 1,25 \quad (37)$$

где  $I_{(1)}$  - ток однофазного короткого замыкания;

Для примера проводим выбор и проверку вводного автоматического выключателя для шкафа питания потребителей первой группы, по номинальному току и напряжению выбираем тип: ВА04-36-34 номинальным током 31,5 А, и током электромагнитного расцепителя 200 А, проводим сравнение параметров выбранного типа выключателя.

По номинальному напряжению сети напряжению сети

$$0,4 \geq 0,4 \text{ (кВ)}$$

- проверка тока теплового расцепителя:

$$31,5 \geq 26,67 \text{ (A)}$$

- проверка по току электромагнитного расцепителя при трехфазном КЗ:

$$\frac{640}{200} = 3,2 \geq 1,25 \text{ (A)}$$

- проверка по току электромагнитного расцепителя при однофазном КЗ:

$$\frac{330}{200} = 1,65 \geq 1,25$$

Таким образом данный выключатель проходит проверку по всем параметрам следовательно его принимаем к установке, аналогично проводим расчет автоматических выключателей для остальных присоединений, результаты расчета указаны в таблице 15.

Таблица 15 – Выбор и проверку АВ 0,4 кВ

Наименование потребителей	$I_p$ (А)	Тип АВ	Ном. ток (А)	$I_{расц}$ (А)
Шкаф питания потребителей первой группы (1-е питание)	26,67	ВА04-36-34	31,5	200
Шкаф питания потребителей первой группы (2-е питание)	26,67	ВА04-36-34	31,5	200
Шкаф питания потребителей второй группы (1-е питание)	26,67	ВА04-36-34	31,5	200
Шкаф питания потребителей второй группы (2-е питание)	26,67	ВА04-36-34	31,5	200
Шкаф питания потребителей третьей группы (1-е питание)	68,2	ВА04-36-34	80	300
Шкаф питания потребителей третьей группы (2-е питание)	68,2	ВА04-36-34	80	300

Все автоматические выключатели прошли проверку следовательно их принимаем к установке. Так же выбор выключателей приведен в приложении В.

## 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ТОКОВ КЗ

Данный расчет проводится для определения уровней токов короткого замыкания в электроустановках напряжением 6 кВ первой очереди БТЭЦ, в данном случае на секции 2Р, т.к. в данной работе предполагается провести модернизацию данного распределительного устройства, этом исходная схема с указанием типа оборудования и его маркировки представлена на рисунке 9.

На рисунке 10 представлена схема замещения для расчета токов короткого замыкания с двумя расчетными точками КЗ на разных секциях СН БТЭЦ.

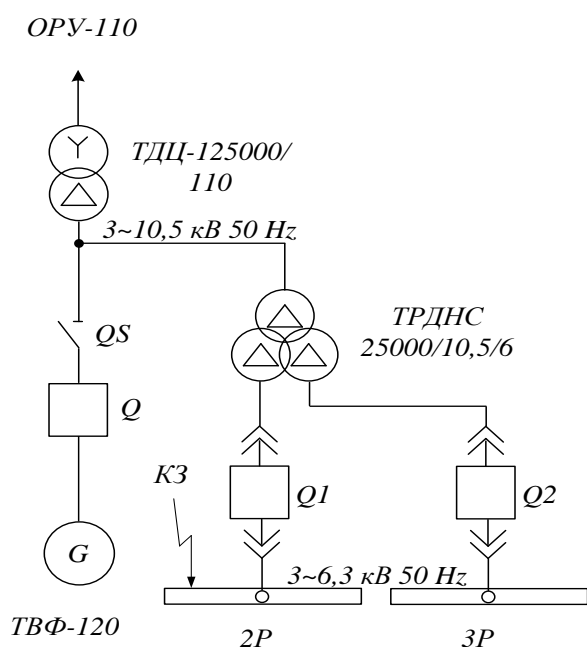


Рисунок 9 – Расчетные точки КЗ

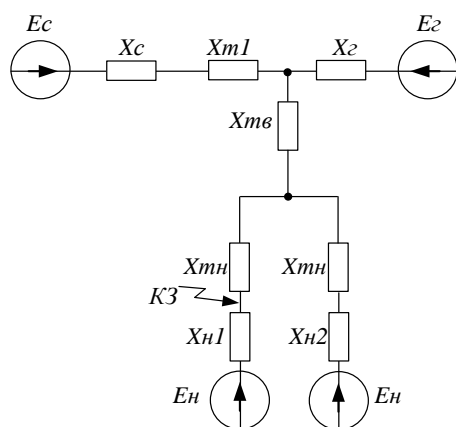


Рисунок 10 – Схема замещения

Расчет проводим в относительных единицах приближенным методом с использованием среднего ряда напряжений. Базисные условия указаны в таблице 16:

Таблица 16 – Базисные условия

Базисная мощность (МВА)	Базисное напряжение на стороне 110 кВ	Базисное напряжение на стороне 6 кВ
25	115	6,3

Определяем базисный ток для необходимой ступени трансформации по следующей формуле:

$$I_{Б6} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{Б6}} \quad (38)$$

$$I_{Б6} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2,93 \text{ (кА)}$$

Определяем индуктивные сопротивления всех элементов схемы замещения в относительных единицах приведенные к базисным условиям (о.е.):

Сопротивление энергосистемы со стороны шин 110 кВ БТЭЦ определяется через номинальный ток отключения выключателя 110 кВ который составляет 40 кА:

$$X_C = \frac{S_B}{S_{КЗ}} \quad (39)$$

$$X_C = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 40} = 0,004$$

где  $S_{КЗ}$  – мощность короткого замыкания на шинах 110 кВ БТЭЦ

Определяем сопротивление обмоток силового блочного трансформатора Т2 (о.е.):

$$X_T = \frac{u_{К\%}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_H} \quad (40)$$

$$X_T = \frac{10,4}{100} \cdot \frac{25}{25} = 0,1 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивления обмоток силового трансформатора собственных нужд 2ВТ, в данном случае обмотка высокого напряжения конструктивно расположены между обмотками низкого напряжения следовательно ее сопротивление равно нулю, сопротивления расщепленных обмоток равны двойному значению общего сопротивления трансформатора (о.е.):

$$X_{ТВ} = 0$$

$$X_{ТН} = 2 \cdot \frac{u_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_H} \quad (41)$$

$$X_{ТН} = 2 \cdot \frac{11,4}{100} \cdot \frac{25}{25} = 0,228 \text{ (о.е.)}$$

Сопротивление обобщенной нагрузки (на стороне 6 кВ секций 2Р, 3Р) (о.е.):

$$X_H = 0,35 \cdot \frac{S_B}{S_H} \quad (42)$$

где  $S_H$ , – мощность нагрузки (МВА)

$$X_{H1} = 0,35 \cdot \frac{25}{11,82} = 0,75 \text{ (о.е.)}$$

$$X_{H2} = 0,35 \cdot \frac{25}{9,44} = 0,82 \text{ (о.е.)}$$

Определяем сопротивление турбогенератора №2 «БТЭЦ» (о.е.):

$$X_G = x_d \cdot \frac{S_B}{S_H} \quad (43)$$

где  $x_d$ , – сверхпереходное сопротивление по продольной оси (о.е.)



$$X_{\Gamma} = 0,136 \cdot \frac{25}{120/0,85} = 0,017$$

После определения значений всех элементов схемы замещения проводим последовательное преобразование относительно точки короткого замыкания. Подробное сворачивание схемы на примере точки КЗ-1 представлено на рисунках 11, 12, 13, 14:

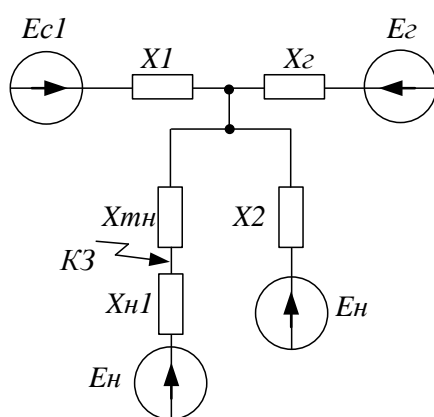


Рисунок 11 – Преобразование №1 схемы замещения относительно точки короткого замыкания

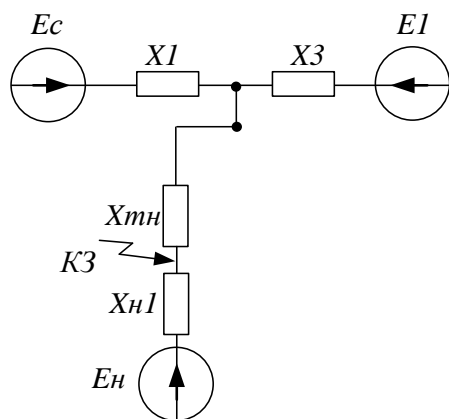


Рисунок - 12 Преобразование №2 схемы замещения относительно точки короткого замыкания

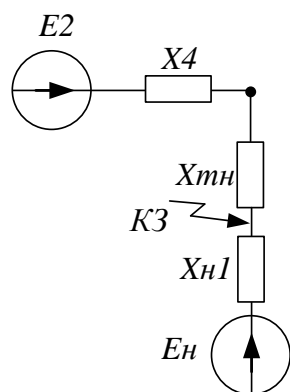


Рисунок – 13 Преобразование №3 схемы замещения относительно точки короткого замыкания

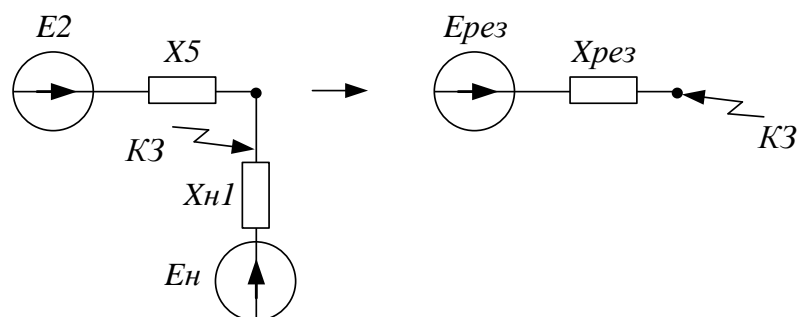


Рисунок – 14 Преобразование схемы замещения до результирующих ЭДС и сопротивления

Определяем параметры схемы замещения после преобразования, сопротивления:

$$X1 = X_c + X_T \quad (44)$$

$$X1 = 0,004 + 0,013 = 0,017$$

$$X2 = X_{TН} + X_{Н2} \quad (45)$$

$$X2 = 0,228 + 0,82 = 1,048$$

$$X3 = \frac{X_{Г} \cdot X2}{X_{Г} + X2} \quad (46)$$

$$X_3 = \frac{0,017 \cdot 1,048}{0,017 + 1,048} = 0,016$$

$$X_4 = \frac{X_1 \cdot X_3}{X_1 + X_3} \quad (47)$$

$$X_4 = \frac{0,017 \cdot 0,016}{0,017 + 0,016} = 0,002$$

$$X_5 = X_4 + X_{TH} \quad (48)$$

$$X_5 = 0,002 + 0,228 = 0,23$$

$$X_p = \frac{X_5 \cdot X_{HI}}{X_5 + X_{HI}} \quad (49)$$

$$X_p = \frac{0,23 \cdot 0,75}{0,23 + 0,75} = 0,17$$

Проводим преобразование ЭДС по следующим формулам (ЭДС энергосистемы в относительных единицах составляет – 1, ЭДС обобщенной нагрузки – 0,85, генератора 1,05):

$$E_1 = \frac{X_G \cdot E_H + X_2 \cdot E_r}{X_G + X_2} \quad (50)$$

$$E_1 = \frac{0,017 \cdot 0,85 + 1,048 \cdot 1,05}{0,017 + 1,048} = 1,04$$

$$E_2 = \frac{X_1 \cdot E_1 + X_3 \cdot E_c}{X_1 + X_3} \quad (51)$$

$$E_2 = \frac{0,017 \cdot 1,04 + 0,016 \cdot 1}{0,017 + 0,016} = 1,02$$

$$E_p = \frac{X_{HI} \cdot E_2 + X_5 \cdot E_H}{X_5 + X_{HI}} \quad (52)$$

$$E_p = \frac{0,75 \cdot 1,02 + 0,23 \cdot 0,85}{0,75 + 0,23} = 0,98$$

Определяем начальное значение периодической составляющей тока КЗ в расчетной точке:

$$I_{no} = \frac{E}{X} \cdot I_{Б6} \quad (53)$$

$$I_{no} = \frac{0,98}{0,17} \cdot 2,93 = 16,89 \text{ (кА)}$$

Значение апериодической составляющей тока короткого замыкания определяется по следующей формуле:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot e^{\frac{-T_{ОВ}}{T_a}} \quad (54)$$

где  $I_{at}$  – апериодическая составляющая тока короткого замыкания (кА)

$I_{no}$  – периодическая составляющая тока короткого замыкания в начальный момент времени (кА)

$T_{ОВ}$  – время отключения выключателя с учетом минимального времени работы защиты.

$T_a$  – постоянная времени.

Определяем значение апериодической составляющей тока короткого замыкания на примере первой точки:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot 16,89 \cdot e^{\frac{-0,06}{0,03}} = 0,85 \text{ (кА)}$$

Постоянная времени определяется по справочным данным для расчетного меча КЗ можно определить ее по данной формуле:

$$T_a = 0,03 \quad (55)$$

где  $X_p$  – суммарное индуктивное сопротивление до точки короткого замыкания (о.е.)

$R_p$  – суммарное активное сопротивление до точки короткого замыкания (о.е.)

$\omega$  – угловая частота

Значение ударного тока короткого замыкания определяется по следующей формуле:

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot \left( 1 + e^{\frac{-0,01}{Ta}} \right) \quad (56)$$

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 16,89 \cdot \left( 1 + e^{\frac{-0,01}{0,03}} \right) = 40,87 \text{ (кА)}$$

В дальнейшем при выборе оборудования указанные данные будут использованы в расчетах.

## 8 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ 6 КВ

В данном разделе проводится выбор и проверка следующего стационарного оборудования: выключатели, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, жесткая ошиновка приборы контроля и учета электроэнергии в схеме собственных нужд первой очереди БТЭЦ в частности на секции 2Р которая по условиям выполнения данной работы модернизируется.

Определяем максимальный рабочий ток на секции 2Р (по условиям номинальной загрузки одной из обмоток низкого напряжения 2ВТ):

$$I_M = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (57)$$

где  $S_n$  – номинальная мощность трансформатора (МВА);

$U_n$  – номинальное напряжение (кВ);

$$I_M = \frac{25 \cdot 0,5}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1153,0 \text{ (А)}$$

## **8.1 Выбор и проверка выключателей 6 кВ**

Перед выбором типа выключателя принимаем к установке комплектное распределительное устройство напряжением 6 кВ для электроснабжения потребителей собственных нужд БТЭЦ типа «СЭЩ» - Самара электрощит.

Комплектное распределительное устройство состоит из разных ячеек, соединенных между собой. Электрическое соединение ячеек внутри щита осуществляется с помощью сборных шин. Постоянная электрическая связь всех металлических корпусов обеспечивается с помощью подключения корпуса ячеек к главной заземляющей сборной шине РУ. Электрические кабели вторичных цепей проходят через щит над отсеками автоматики. Подключение этих кабелей возможно с любой стороны, а также сверху и снизу каждой ячейки.

Ячейка представляет собой заземленную металлическую оболочку, соответствующую требованиям международных стандартов. Это ячейка бронированного типа, то есть все отсеки разделены металлическими перегородками друг от друга:

- 1) сборные шины (по заказу - изолированные или без изоляции);
- 2) выкатной элемент (выключатель, тележка разъединителя или тележка трансформаторов напряжения);
- 3) кабельные присоединения высокого напряжения, заземляющий разъединитель, датчики и, возможно, трансформаторы напряжения;
- 4) отсек автоматики и релейной защиты.

По специальному заказу возможна поставка ячеек с изолированными друг от друга отсеками магистральных шин. Для этого используются специальные изоляторы.

Изоляция между токопроводящими частями обеспечивается воздушными промежутками.

Устройство комплектное распределительное негерметизированное типа «СЭЩ» в металлической оболочке, трехфазного переменного тока напряжением 6-10 кВ для сетей с изолированной или заземленной через дуго-

гасительных реактор нейтрально, предназначенное для приёма и распределения электроэнергии.

Выбор выключателей для секции 2Р осуществляется по номинальному напряжению и номинальному току:

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети} \quad (58)$$

$$I_{ном} \geq I_{макс.раб} \quad (59)$$

Термическая стойкость выключателя 6 кВ проверяется через интеграл Джоуля:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k \quad (60)$$

где  $I_{тер}$  - ток термической стойкости выключателя 6 кВ;

$t_{тер}$  - время термической стойкости выключателя 6 кВ,

$B_k$  - интеграл Джоуля.

Электродинамическая стойкость выключателя 6 кВ проверяется по выражению:

$$I_{пр.скв} = I_{дин} \geq I_{уд} \quad (61)$$

где  $I_{пр.скв}$  - предельный сквозной ток выключателя 6 кВ;

$I_{дин}$  - ток электродинамической стойкости выключателя 6кВ.

Значение интеграла Джоуля можно определить по формуле :

$$B_k = I_{но}^2 \cdot (t_{отк} + T_a) \quad (62)$$

где  $I_{но}$  - расчётное значение периодической составляющей тока КЗ (кА);

$t_{отк}$  - время отключения выключателя (сек);

$T_a$  - постоянная времени.

Для КЗ на секции 2Р:

$$B_k = 16,89^2 \cdot (2,0 + 0,03) = 570,54 \text{ (кА}^2\text{с)}$$

Первоначально принимаем выключатель вакуумный отечественного производства ВВЭ СЭЩ 10/1600/20 для рабочего ввода.

Сравнение параметров выбранного выключателя со значениями, полученными при расчете токов КЗ показано в таблице 17:

Таблица 17 – Выбор и проверка выключателя рабочего ввода 6 кВ секций 2Р

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение $U_{ном}$ (кВ)	10	6	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
Номинальный ток $I_{ном}$ (А)	1600	1153,0	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
Номинальный ток включения $I_{вкл}$ (кА)	20	16,89	$I_{вкл} \geq I_{но}$
Наибольший пик тока включения $I_{пик}$ , $I_{уд}$ (кА)	51	40,87	$I_{пик} \geq I_{уд}$
Номинальный ток отключения $I_{откл}$ (кА)	20	16,89	$I_{откл} \geq I_{но}$
Номинальное значение аperiodической составляющей, $I_a$ (кА)	8,48	0,85	$I_{ном.а} \geq I_a$
Предельный сквозной ток $I_{прскв}$ , $I_{уд}$ (кА)	51	40,87	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
Термическая стойкость, $I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ (кА <sup>2</sup> с)	1200	570,54	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

Выключатель проходит по всем параметрам его принимаем к установке.

Первоначально принимаем выключатель вакуумный отечественного производства ВВЭ СЭЩ 10/630/20 для присоединений.

Таблица 18 – Выбор и проверка выключателя 6 кВ присоединения секции 2Р (ПЧ-2,5)

Номинальные параметры выключателя		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение $U_{ном}$ (кВ)	10	6	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
Номинальный ток $I_{ном}$ (А)	630	94,77	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$



Продолжение таблицы 18

Номинальный ток включения $I_{вкл}$ (кА)	20	16,89	$I_{вкл} \geq I_{но}$
Наибольший пик тока включения $I_{пик}$ , $I_{уд}$ , (кА)	51	40,87	$I_{пик} \geq I_{уд}$
Номинальный ток отключения $I_{откл}$ (кА)	20	16,89	$I_{откл} \geq I_{но}$
Номинальное значение апериодической составляющей, $I_a$ (кА)	8,48	0,85	$I_{ном.а} \geq I_a$
Предельный сквозной ток $I_{прскв}$ , $I_{уд}$ (кА)	51	40,87	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
Термическая стойкость, $I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ (кА <sup>2</sup> с)	1200	570,54	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$

Выключатель проходит по всем параметрам его принимаем к установке.

### 8.2 Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений 6 кВ.

Ограничители перенапряжений выполнены как одно колонковые аппараты опорного типа вертикальной установки и предназначены для защиты электрических аппаратов от грозовых и коммутационных перенапряжений

Принимаем к установке в РУ 6 кВ ОПН-6/11-10(I) Сравнение параметров приведено в таблице 19.

Таблица 19 – Выбор и проверка ОПН секции 2Р

Номинальные параметры		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение $U_{ном}$ (кВ)	6	6	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
Наибольшее рабочее напряжение $U_{нр}$ (кВ)	3,81	3,46	$U_{нр} \geq U_{нр.сети}$

ОПН 6 проходит проверку по всем показателям его принимаем к установке на секции 2Р.

### 8.3 Выбор трансформаторов тока для секций СН 6 кВ

Активная вторичная нагрузка трансформаторов тока состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов ее значение можно определить по следующей приближенной формуле:

$$R_{2ТТ} = R_{нр} + R_{приб} + R_{кон} \quad (63)$$

Находим сопротивление соединительных проводов:

$$R_{np} = \frac{\rho \cdot L}{f} \quad (64)$$

где  $L$  - длина соединительных проводов, для КРУ СН 6 кВ;

$f$  - сечение соединительного провод.

$\rho$  удельное сопротивление провода;

$$R_{np} = \frac{0,0283 \cdot 600}{4} = 0,43 \text{ (Ом)}$$

Для определения величины сопротивления приборов необходимо найти их общую мощность, для этого в таблице 20 приведены данные по приборам подключенным к рассматриваемым трансформаторам тока

Таблица 20 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока секций 2Р

Прибор	Тип	Нагрузка (ВА)
Амперметр	Э-350	0,5
Многофункциональный прибор учета	Альфа А1800 (Метроника)	1,0
Сумма		0,6

Тогда сопротивление приборов:

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I^2} \quad (65)$$

$$R_{приб} = \frac{1,62}{1} = 1,62 \text{ (Ом)}$$

Находим суммарное сопротивление вторичной нагрузки трансформаторов тока

$$R_{2TT} = 1,62 + 0,43 + 0,1 = 2,15 \text{ (Ом)}$$

Принимаем трансформатор тока типа ТЛС СЭЩ-10 для рабочего ввода с номинальным током первичной обмотки 1200 А. Сравнение параметров приведено в таблице 21.

Таблица 21 – Проверка выбранного ТТ 6 кВ рабочего ввода секции 2Р

Номинальные параметры трансформатора тока		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение $U_{ном}$ (кВ)	10	6	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
Номинальный ток $I_{ном}$ (А)	1200	1153,0	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
Предельный сквозной ток $I_{прскв}$ , $I_{уд}$ (кА)	52	40,87	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
Термическая стойкость, $I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ (кА <sup>2</sup> с)	3675	570,54	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$
Номинальная вторичная нагрузка $R_{2ном}$ (Ом)	5	2,15	$R_{2ном} \geq R_{2ТТ}$

Принимаем трансформатор тока типа ТЛС СЭЦ-10 для присоединений с номинальным током первичной обмотки 100 А. Сравнение параметров приведено в таблице 22.

Таблица 22 – Проверка выбранного ТТ 6 кВ присоединения секций 2Р (ПЧ-2,5)

Номинальные параметры трансформатора тока		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальное напряжение $U_{ном}$ (кВ)	10	6	$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$
Номинальный ток $I_{ном}$ (А)	100	94,77	$I_{ном} \geq I_{макс.раб}$
Предельный сквозной ток $I_{прскв}$ , $I_{уд}$ (кА)	52	40,03	$I_{пр.скв} \geq I_{уд}$
Термическая стойкость, $I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ (кА <sup>2</sup> с)	3675	570,54	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$
Номинальная вторичная нагрузка $R_{2ном}$ (Ом)	5	2,15	$R_{2ном} \geq R_{2ТТ}$

Выбранные трансформаторы тока проходят проверку по всем требованиям.

#### 8.4 Выбор трансформатора напряжения 6 кВ

В данном разделе проводится расчет вторичной нагрузки трансформатора напряжения секции СН 2Р. Для этого в таблице 23 приведены данные о подключенных к трансформатору напряжения приборах.

Таблица 23 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения секции 2Р

Тип прибора	Прибор	Количество приборов	Нагрузка (ВА)
Вольтметр	Э-335	1	2
Многофункциональный прибор учета	Альфа А1800 (Метроника)	32	1
Сумма			34

Принимаем трансформатор напряжения типа: НАМИ – 6.

Сравнение параметров выбранного трансформатора напряжения приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Проверка выбранного ТН секции 2Р

Номинальные параметры ТН		Расчетные данные	Условия выбора и проверки
Номинальная вторичная нагрузка в классе точности 0,5 (10 кВ)	75 ВА	34 ВА	$S_{2ном} \geq S_2$

Данный тип трансформатора оставляем.

### 8.5 Выбор жестких шин КРУ 6 кВ

В качестве токоведущих шин принимаем полосы из специального сплава сечением 80/6 мм, Шины располагаем в одной плоскости, устанавливаем их плашмя на изоляторы.

Выполняем проверку на термическую стойкость, определяем минимальное сечение по условиям нагрева токами КЗ, на секции 2Р.

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{Bk}}{C} \quad (66)$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{570,54}}{95} = 0,138 \text{ (см}^2\text{)}$$

где  $C$  - вспомогательный коэффициент для материала шин.

Сечение принятой шины составляет 4,8 см<sup>2</sup>, следовательно оно проходит проверку по термической стойкости, далее проверяем шины на механическую

прочность, определяем расстояние между изоляторами одной фазы через момент инерции и сечение.

Момент инерции шин:

$$J = b \cdot h^3 \frac{1}{12} \quad (67)$$

$$J = 0,6 \cdot 8^3 \frac{1}{12} = 25,6 \text{ (см}^3 \times \text{см)}$$

Максимальное расстояние между изоляторами:

$$L_M = \sqrt{\frac{173,2}{200} \cdot \frac{J}{F_{\text{шин}}}} \quad (68)$$

где  $F_{\text{шин}}$  - сечение шины (см<sup>2</sup>)

$$L_M = \sqrt{\frac{173,2}{200} \cdot \frac{J}{F_{\text{шин}}}} = \sqrt{\frac{173,2}{200} \cdot \frac{25,6}{4,8}} = 0,95 \text{ (м)} \quad (69)$$

Принимаем расстояние менее расчетного (0,9м)

Проводим проверку на динамическую стойкость определяем наибольшее удельное усилие при трехфазном коротком замыкании на шинах

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_{y0}^2}{a} \quad (70)$$

где  $i_{y0}$  – ударный ток короткого замыкания на соответствующей секции (А).

$a$  - межфазное расстояние (м).

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{40870^2}{0,4} = 723,3 \text{ (Н/м)}$$

Проводим расчет механического напряжения в материале шин, определяем момент сопротивления по формуле:

$$W = b \cdot h^2 \frac{1}{6} \quad (71)$$

$$W = 0,6 \cdot 8^2 \frac{1}{6} = 6,4 \text{ (см}^3\text{)}$$

Определяем напряжение в материале шин при протекании во время ударного тока КЗ

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l^2}{W \cdot a} \quad (72)$$

$$\sigma_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{40870^2 \cdot 0,9^2}{6,4 \cdot 0,4} = 9,15 \text{ (МПа)}$$

Данное напряжение не должно превышать 60% от разрушающего для выбранного материала шин равного 36 МПа, следовательно можно сделать вывод что выбранная конструкция проходит проверку по динамической стойкости.

## 9 ПРОВЕРКА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 6 КВ

В данном разделе проводим проверку выбранных кабельных линий по условиям протекания токов короткого замыкания а так же на потерю напряжения.

### 9.1 Проверка кабельных линий 6 кВ по термической стойкости

Данная проверка аналогична проверке кабельных линий 0,4 кВ, предварительно проводим расчет тока короткого замыкания на примере расчетной точки КЗ в шкафу ввода питания ПЧ-2, определяем активные и индуктивные сопротивления КЛ:

$$X_{кл} = x_0 \cdot L \quad (73)$$

$$R_{кл} = r_0 \cdot L \quad (74)$$

где  $x_0$ ,  $r_0$  - удельное реактивное и активное сопротивление КЛ.

$$X_{кл} = 0,1 \cdot 0,2 = 0,02 \text{ (Ом)}$$

$$R_{кл} = 0,82 \cdot 0,2 = 0,16 \text{ (Ом)}$$

Определяем сопротивление системы - со стороны шин 6 кВ сек 2Р:

$$X_c = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}} \quad (75)$$

где  $U_{cp}$  - напряжение среднего ряда, принимается равным 6,3 кВ.

$I_{кз}$  - ток трехфазного короткого замыкания на шинах 6 кВ сек 2Р.

$$X_c = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 16,89} = 0,21 \text{ (Ом)}$$

Результирующее активное сопротивление до точки КЗ:

$$X_p = X_c + X_{кл} \quad (76)$$

$$X_p = 0,21 + 0,02 = 0,23 \text{ (Ом)}$$

$$R_p = R_{кл} = 0,16 \text{ (Ом)} \quad (77)$$

Определяем периодическую составляющую тока короткого замыкания по следующей формуле:

$$I_{по} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_p^2 + X_p^2}} \quad (78)$$

$$I_{по} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,16^2 + 0,23^2}} = 12,98 \text{ (кА)}$$

Проводим расчет постоянной времени для каждой точки КЗ:

$$T_a = \frac{X_p}{\omega \cdot R_p} \quad (79)$$

где  $\omega$  - синхронная частота напряжения сети 314 рад/с.

$$T_a = \frac{0,23}{314 \cdot 0,16} = 0,004$$

Выполняем расчет теплового импульса, при этом время протекания тока короткого замыкания должно учитывать полное время отключения выключателя и время работы защиты с учетом ступеней селективности, принимается равным 0,6 сек:

$$B_k = I_{по}^2 \cdot (T_{об} + T_a) \quad (80)$$

где  $T_{об}$  - полное время отключение выключателя сек.

$$B_k = 12,98^2 \cdot (0,6 + 0,004) = 101,08 \text{ (кА}^2\text{с)}$$

По аналогичным формулам проводится расчет токов короткого замыкания на остальных расчетных точках, результаты расчета сводим в таблицу 25.

Таблица 25 – Расчет токов КЗ и теплового импульса

Расчетная точка КЗ	$I_{по}$ (кА)	$B_k$ (кА <sup>2</sup> с)
Шины шкафа ввода питания ПЧ-1	13,18	104,22
Шины шкафа ввода питания ПЧ-2	12,98	101,08
Шины шкафа ввода питания ПЧ-3	12,52	94,05
Шины шкафа ввода питания ПЧ-4	13,18	104,22
Шины шкафа ввода питания ПЧ-5	12,98	101,08
Шины шкафа ввода питания ПЧ-6	12,52	94,05

Далее проводим проверку выбранных КЛ по термической стойкости к токам КЗ с использованием полученных значений теплового импульса.

Проверку на термическую стойкость кабельной линии будем выполнять исходя из значения максимального теплового импульса принятого типа КЛ, на примере участка сек 2Р – шкаф ввода питания ПЧ-2, рассчитываем для него максимальный тепловой импульс согласно паспортным данным (предельный ток трехсекундного КЗ составляет 6,1 кА):



$$B_{\text{кмакс}} = 6,1^2 \cdot 3 = 111,63 \text{ (кА}^2\text{с)}$$

Сравниваем данное значение со значением полученным ранее значением  
Проводник проходит проверку при условии:

$$B_{\text{кмакс}} \geq B_{\text{к}} \quad (81)$$

$$111,63 \geq 101,08$$

В данном случае проводник проходит проверку.

Аналогично проводим расчет для остальных КЛ, результаты в таблице

26

Таблица 26 – Проверка КЛ по термической стойкости

Наименование КЛ	$B_{\text{к}}$ (кА <sup>2</sup> с)	$B_{\text{кмакс}}$ (кА <sup>2</sup> с)
сек. 1РО – шкаф ввода питания ПЧ-1	104,22	111,63
сек 2Р – шкаф ввода питания ПЧ-2	101,08	111,63
сек 4Р – шкаф ввода питания ПЧ-3	94,05	111,63
сек 1РО – шкаф ввода питания ПЧ-4	104,22	111,63
сек 2Р – шкаф ввода питания ПЧ-5	101,08	111,63
сек 4Р – шкаф ввода питания ПЧ-6	94,05	111,63

Все сечения прошли проверку, далее проводим расчет потери напряжения

## 9.2 Проверка кабельных линий 6 кВ по потере напряжения

В расчете принимают участие кабельные линии от РУСН ГК (сек 1РО, 2Р, 4Р) до шкафов ввода питания ПЧ.

Потеря напряжения в участке КЛ определяется по следующей формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot \frac{100}{U_n} \quad (82)$$

где  $r_0$  – погонное активное сопротивление Ом/км;

$x_0$  – погонное реактивное сопротивление Ом/км.

Расчет проводим на примере участка сек 2Р – шкаф ввода питания ПЧ-2:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 94,77 \cdot 0,2 \cdot \left( 0,82 \cdot \frac{894,13}{1026,98} + 0,1 \cdot \frac{505,18}{1026,98} \right) \cdot \frac{100}{6300} = 0,39 (\%)$$

Т.к. кабельные линии и их протяжённость не отличаются, расчетная мощность так же одинакова, следовательно данный уровень потери напряжения будет иметь место на всех рассматриваемых участках, при этом допустимая потеря напряжения составляет 5%, в нашем расчете полученное значение меньше, следовательно проводники проходят проверку, расчет окончен.

## 10 ТЕЛЕМЕХАНИКА

На для управления процессом переключения коммутационными аппаратами на багерной насосной станции используются средства телемеханики.

Телемеханика – это комплекс оборудования и программного обеспечения, которые обеспечивают возможность приема и передачи информации, сигналов от различных объектов, а также позволяют управлять оборудованием данных объектов. В данной статье рассмотрим, что представляют собой системы телемеханики электроэнергетических объектов – электростанций, объектов.

Телемеханика электроэнергетических объектов, по сути, являющаяся автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП), включает в себя несколько отдельных систем:

- системы автоматического управления (САУ);
- средства диспетчерского и технического управления (СДТУ);
- программное обеспечение, служащее для сбора, обработки, хранения, анализа различной информации относительно работы электрического оборудования (SCADA);
- пульты управления, панели с переключающими устройствами, контрольно-измерительными приборами.

Для передачи данных между системами телемеханики объектов с центральными пунктами управления, в зависимости от взаимного

расположения объектов, используют беспроводные, проводные средства связи, ВЧ-связь по высоковольтным линиям электропередач.

Системы телемеханики строятся таким образом, чтобы обеспечить высокую точность, скорость и надежность при передаче информации, сигналов управления оборудованием. Также одной из основных задач данных систем является организация быстрой и точной фиксации изменения тех или иных параметров электрической сети, состояния оборудования, что обеспечивается благодаря максимальной автоматизации данного процесса.

## 11 АСУ ЭТО

Автоматизированная система управления электротехническим оборудованием - комплекс технических и программных средств, предназначенный для автоматизации управления электротехническим оборудованием.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) объекта - система, включающая как программно-технический комплекс (ПТК), решающий различные задачи сбора, обработки, анализа, визуализации, хранения и передачи технологической информации и автоматизированного управления оборудованием трансформаторной объекта, так и соответствующие действия персонала по контролю и оперативному управлению технологическими процессами объекта, выполняемые во взаимодействии с ПТК.

С учетом сложности и ответственности разных функций управления создание АСУ ТП объекта осуществляется поэтапно, начиная с менее сложных и ответственных: оперативного управления, автоматического регулирования, релейной защиты. Завершенная в полном объеме АСУ объекта называется интегрированной системой управления объекта.

В составе АСУ ТП объекта предусматриваются следующие функции:

*Оперативное управление* — сбор и первичная обработка дискретной и аналоговой информации, формирование, обновление, корректировка базы

данных, регистрация аварийных ситуаций и переходных процессов, фиксация факта и времени выдачи управляющих команд, учет электроэнергии, отпущенной потребителям, переданной соседним энергосистемам или полученной от них, отображение и документирование информации для оперативного персонала, контроль текущих значений параметров режима, определение длительности допустимых перегрузок трансформаторов и другого оборудования, контроль продолжительности работы оборудования в утяжеленных условиях (при перегрузках), контроль качества напряжения, контроль работы трансформаторов и другого оборудования, регистрация состояния оборудования, определение ресурса трансформаторов (по изоляции и по электродинамическим воздействиям) и коммутационного оборудования,

Кроме этого - определение ресурса трансформаторов, контроль состояния изоляции высокого напряжения, анализ аварийных ситуаций, контроль и управление электропотреблением, автоматическое составление бланков оперативных переключений, контроль состояния сети оперативного тока, контроль охлаждения трансформаторов, контроль состояния системы автоматического пожаротушения, управление коммутационной аппаратурой, определение расстояния до места повреждения на ЛЭП, автоматическое ведение суточной ведомости, формирование телеизмерений и телесигналов и передача их на диспетчерские пункты верхних уровней управления, реализация команд телеуправления коммутационными аппаратами и средствами управления, организация необходимых каналов связи и управления с диспетчерскими пунктами и оперативно-выездными бригадами,

*Автоматическое управление* — управление напряжением и реактивной мощностью, управление составом работающих трансформаторов (оптимизация числа работающих трансформаторов по критерию минимума потерь активной мощности), управление нагрузкой в аварийных режимах, адаптивное АПВ и АВР,

*Релейная защита* — релейная защита всех элементов, диагностирование и проверка релейной защиты и автоматики, адаптация релейной защиты, анализ

действия релейной защиты по сигнализации, резервирование отказа выключателей.

Цифровая техника на объекте дает следующие преимущества:

- повышение надежности всех функций управления благодаря автоматическому диагностированию системы и расширению возможности использования всего объема исходной информации,
- улучшение контроля за состоянием оборудования объекта,
- сокращение избыточности цепей и информации, необходимой для обеспечения определенного уровня надежности,
- повышение возможностей достоверизации и корректировка исходной информации благодаря наличию достаточно большого объема избыточной информации,
- увеличение объемов информации, что позволяет системе управления формировать более обоснованные решения, -
- возможность реализации адаптивных систем релейной защиты и управления,
- снижение суммарных затрат на комплекс технических средств управления,
- возможность применения новых прогрессивных технических средств (датчиков высокой точности, волоконно-оптических систем и др.).

Почти для всех разработок общим является использование в качестве технической базы АСУ ТП объектами многомашинных распределенных комплексов, базирующихся на структурах локальных вычислительных сетей. Микропроцессоры, входящие в эти комплексы, выполняют разные технологические и вспомогательные функции, включая связь между объектом и диспетчерским пунктом.

К числу функций управления объектом, которые автоматизируются с помощью микропроцессорной техники, относятся:

- сбор и обработка информации,
- отображение и документирование информации,

- контроль измеряемых величин, выходящих за установленные пределы,
- передача информации на верхний уровень управления,
- выполнение простых вычислений,
- автоматическое управление оборудованием объекта в нормальном режиме.

К устройствам релейной защиты и противоаварийной автоматики предъявляются наиболее высокие требования по надежности и быстродействию. Отказы микропроцессорных систем при выполнении функций релейной защиты и противоаварийной автоматики должны быть практически исключены.

Диалоговая система должна обеспечить общение с АСУ ТП разных пользователей: оперативного персонала, для которого используется наиболее простой, близкий к естественному, язык общения, специалистов в области релейной защиты и противоаварийной автоматики, выполняющих настройку, проверку и изменение уставок (более сложный, специализированный язык общения), специалистов по вычислительной технике (наиболее сложный язык). С помощью АСУ ТП контролируются: состояние (включено-отключено) работающего оборудования, текущие значения величин по сравнению с установленными допустимыми пределами, исправность средств управления (связи, релейной защиты и противоаварийной автоматики), допустимая длительность перегрузки трансформаторов и ЛЭП, разница коэффициентов трансформации включаемых на параллельную работу трансформаторов.

К числу функций автоматического управления в нормальном режиме относятся: регулирование напряжения на шинах объекта посредством включения и отключения конденсаторов, оперативные переключения по заданной программе, блокировка разъединителей отключение одного из параллельно работающих трансформаторов для уменьшения суммарных потерь электроэнергии в режиме малых нагрузок, автоматизация считывания показаний счетчиков электроэнергии.

Функции управления АСУ ТП объектом в аварийных режимах включают релейную защиту элементов объекта, УРОВ, АВР, отключение и восстановление нагрузки. С помощью микро ЭВМ реализуются адаптивные системы АПВ шин, которые обеспечивают: переменную выдержку времени (бестоковую паузу) с учетом тяжести предшествующего КЗ, выбор элемента для подачи напряжения на шины объекта, оставшиеся без напряжения (по минимальному уровню тока КЗ в случае устойчивого повреждения, по максимальному значению остаточного напряжения на шинах объекта, от которой подается напряжение и др.

## 12 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

### 12.1 Назначение

ВПЧ преобразует напряжение 6 кВ трехфазной сети переменного тока с постоянными параметрами частоты в трехфазное напряжение с изменяемыми параметрами частоты и напряжения. ВПЧ сертифицирован по ГОСТ Р 51137-98 и может применяться на объектах энергетики (в том числе тепловых электростанциях и насосных станциях централизованного водоснабжения).

Областями применения ВПЧ могут также быть: предприятия нефтяной и химической промышленности, водоснабжения, горнодобывающие и металлургические предприятия. ВПЧ изготовлен в соответствии с требованиями ТУ 3416-002-77305922-2010. ВПЧ имеет двухстороннее обслуживание. Возможно изготовление ВПЧ с односторонним обслуживанием для электродвигателей мощностью от 630 кВт до 2 МВт, с номинальным напряжением 6 кВ.

ВПЧ представляет собой устройство регулируемого привода, в котором используются современные методы управления электрическими двигателями переменного тока и новейшие достижения в силовой электронике. ВПЧ выполнен в виде нескольких металлических шкафов с электрооборудованием. Шкафы ВПЧ изготавливаются в климатическом исполнении УХЛ4 по ГОСТ

15150-69 для эксплуатации в помещениях (объемах) с искусственно регулируемые климатическими условиями, например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных помещениях с кондиционированным или частично кондиционированным воздухом.

ВПЧ термически и динамически устойчив при аварийных режимах работы, в течение времени срабатывания предусмотренных в нем защит. ВПЧ имеет следующие виды защит:

- от коротких замыканий в нагрузке;
- от недопустимых перегрузок по выходному току;
- от перегрева;
- от внешних и внутренних коммутационных перенапряжений;
- от нарушения коммутации и сбоев в цепях управления преобразователем частоты;
- от исчезновения напряжения сети;
- от недопустимого понижения напряжения сети;
- от недопустимого повышения напряжения сети;
- от обратного вращения ротора двигателя;
- от работы на двух фазах;
- от повышения частоты вращения двигателя выше допустимой;
- от открывания дверей шкафов в процессе работы.

## **12.2 Особенности**

В ВПЧ реализована современная технология многоуровневой ШИМ. Многоуровневая ШИМ основана на векторном сложении выходных напряжений последовательно соединенных силовых блоков, каждое из которых регулируется посредством широтно-импульсной модуляции. Таким образом, осуществляется формирование выходного напряжения.

Питающая сеть 6 кВ подсоединяется к первичным обмоткам входного трансформатора ВПЧ. Питание к силовым блокам подводится с вторичных обмоток входного трансформатора. Схема обеспечивает 30-ти пульсное



выпрямление входного напряжения (для ВПЧ на 6 кВ, с пятью СБ на фазу). Данное решение удовлетворяет требованиям существующих стандартов по совместимости технических средств (ГОСТ 32144; IEEE 519), по составу и уровню высших гармоник, генерируемых в сеть.

Установка фильтра на входе ВПЧ – не требуется. Входной коэффициент мощности ВПЧ составляет не менее 0,96. ВПЧ исключает необходимость применения конденсаторной установки для компенсации реактивной мощности. Формирование фазного выходного напряжения осуществляется за счет установки в ВПЧ силовых блоков:

- для синхронных и асинхронных двигателей на напряжение 3 кВ – по три СБ на фазу;

- для асинхронных двигателей на напряжение 6 кВ мощностью до 2 МВт включительно – пять силовых блоков на фазу;

- для асинхронных двигателей на напряжение 6 кВ мощностью от 2,5 МВт и выше – 5 или 6 силовых блоков на фазу;

- для синхронных двигателей на напряжение 6 кВ – 6 силовых блоков на фазу;

- для синхронных и асинхронных двигателей на напряжение 10 кВ – 9 или 8 СБ на фазу.

- Коэффициент искажения синусоидальности кривой выходного напряжения ВПЧ 6 кВ не превышает 2,5%. Таким образом, обеспечивается малый уровень пульсаций выходного напряжения. Форма выходного напряжения максимально приближена к правильной синусоиде.

ВПЧ с инвертором напряжения и многоуровневой ШИМ имеет следующие преимущества:

- не требует дополнительной фильтрации входного и выходного напряжения;

- может использоваться для работы с обычными высоковольтными электродвигателями, при этом его применение не приводит к дополнительному нагреву электродвигателя и снижению допустимой мощности на валу;

- не устанавливает ограничений на длину кабеля, ведущего к электродвигателю;
- не разрушает изоляцию электродвигателя.

### **12.3 Общие сведения**

В общем случае, ВПЧ состоит из двух шкафов: шкафа трансформатора, шкафа силовых блоков и управления. Опциональной составной частью ВПЧ являются шкаф байпаса и шкаф реактора. На верхней плоскости шкафов ВПЧ установлены вытяжные вентиляторы воздушного охлаждения. Количество вентиляторов зависит от мощности ВПЧ. Все вентиляторы ВПЧ питаются от вторичной обмотки силового трансформатора ВПЧ либо от отдельного источника питания. ВПЧ большой мощности оснащаются системой жидкостного охлаждения. Для доступа к электрическим цепям шкафы ВПЧ имеют двери и съемные панели.

Шкаф трансформатора может быть одно- и двухстороннего обслуживания. ВПЧ большой мощности (более 5 МВт) может иметь в составе два шкафа трансформаторов.

В шкафу трансформатора расположены:

- трансформатор;
- шесть нижних вентиляторов охлаждения трансформатора (в ВПЧ одностороннего обслуживания нижние вентиляторы не устанавливаются);
- термоконтроллер;
- ОПН;
- датчики входного тока ВПЧ.

Внутри шкафа трансформатора на основании шкафа установлен многообмоточный сухой трансформатор. Его вторичные обмотки разделены на группы, которые имеют одинаковую величину фазового сдвига напряжений последующей группы относительно предыдущей группы обмоток. Каждая группа формирует трехфазное напряжение питания для соответствующей группы силовых блоков.

Трансформатор жестко закреплен на основании шкафа. Трансформатор имеет текстолитовую раму обвязки, на которой расположены:

- разводка проводников термодатчиков трансформатора;
- клеммы вторичных обмоток для подключения кабелей питания силовых блоков;
- клеммы вторичной обмотки (0,4кВ) собственных нужд ВПЧ;
- трансформаторы тока для измерения входного тока ВПЧ;

Шкафы одностороннего обслуживания не имеют забора/сброса воздуха с задней стороны. В верхней части шкафа трансформатора установлены центробежные вентиляторы. Количество вентиляторов зависит от мощности ВПЧ.

В нижней части – установлены шесть вентиляторов охлаждения по одному на передней и задней стороне каждого из трех стержней сердечников трансформатора (только для ВПЧ с двухсторонним обслуживанием). В шкафу трансформатора ВПЧ с односторонним обслуживанием нижние вентиляторы отсутствуют. Включение нижних вентиляторов происходит автоматически, по сигналу от термоконтроллера сухого трансформатора.

Термоконтроллер сухого трансформатора обеспечивает:

- контроль температуры трансформатора;
- индикацию текущей температуры по каждой фазе;
- автоматическое включение нижних вентиляторов при нагреве трансформатора до температуры плюс 90°С (по умолчанию уставка 80°С плюс гистерезис 10°С);
- сигнализацию о нагреве трансформатора до температуры плюс 120°С (по умолчанию уставка 110°С плюс гистерезис 10°С);
- защиту от перегрева: при температуре свыше плюс 150°С (уставка 140°С плюс гистерезис 10°С).

В шкафу силовых блоков и управления располагаются следующие основные функциональные узлы:

- силовые блоки;

- контроллер управления (PLC);
- главный контроллер ВПЧ;
- измерительные преобразователи выходного тока;
- платы измерительных каналов входного и выходного напряжения;
- плата измерения температуры;
- ИБП;
- сенсорная панель управления.

Силовые блоки ВПЧ большой мощности могут размещаться в двух шкафах. В этом случае низковольтный отсек с элементами системы управления ВПЧ находится только в одном из них. На внутренней стороне дверей шкафов силовых блоков и управления установлены концевые выключатели.

При открытии дверей концевые выключатели срабатывают, и включается сигнализация открытия дверей. Силовые блоки разделены на три группы. В каждой группе силовые блоки соединены последовательно и формируют напряжение одной фазы. Три группы силовых блоков соединены звездой (Y).

Выводы силовых блоков соединены переключками и образуют центр звезды. В месте установки переключек между блоками расположены бесконтактные преобразователи тока. Сигналы с этих датчиков поступают в измерительный канал главного контроллера ВПЧ, где производится контроль параметров выходного тока.

Трехфазное напряжение с первых СБ звезды (выводы силовых блоков) подается на три нагрузочных резистора, а также поступает на плату измерения напряжения на первых силовых блоках каждой фазы. Выпрямленный и ограниченный по току сигнал с платы измерения поступает в измерительный канал главного контроллера ВПЧ, где производится контроль перенапряжения силовых блоков. Выводы последних силовых блоков в каждой фазе являются высоковольтным выходом ВПЧ, и подключены к специальным шинам для подключения нагрузки. Также, к высоковольтному выходу ВПЧ подключена

плата резисторов схемы измерения выходного напряжения, формирующая сигнал для измерительного канала главного контроллера ВПЧ.

Силовые блоки устанавливаются на изолирующие полки-направляющие и крепятся болтами к полкам. Все силовые блоки с одинаковой маркировкой – взаимозаменяемы. Силовые блоки различают в зависимости от номинального напряжения питания и номинального тока. В номенклатуре имеются также силовые блоки с рекуперацией (вместо входного диодного выпрямительного блока установлен управляемый выпрямительный блок) и с тормозными резисторами (используются для торможения электродвигателем рабочего механизма). На силовые блоки подается трехфазное питание с вторичных обмоток силового трансформатора. Силовые блоки защищены входными предохранителями. Каждый силовой блок имеет плату управления и плату драйвера. Питание плат осуществляется от звена постоянного тока СБ. Напряжение звена постоянного тока формируется выпрямителем СБ и составляет в среднем 975 В. Плата драйвера служит для управления IGBT транзисторами силового блока. Плата управления связана с главным контроллером ВПЧ посредством оптоволоконного кабеля, обеспечивающего электрическую изоляцию силового блока от системы управления ВПЧ.

Вентиляторы ВПЧ питаются от вторичной обмотки силового трансформатора, установленного в шкафу трансформатора, предусмотрена возможность питания вентиляторов ВПЧ от внешнего источника питания 0,4 кВ. По задней стенке шкафа силовых блоков и управления ВПЧ на 6 кВ проходит вытяжной воздуховод. Холодный воздух проходит через фильтры на передней двери и обдувает радиаторы силовых блоков. Нагретый воздух вытягивается в заднюю часть шкафа силовых блоков и управления и вдоль задней стенки (для ВПЧ на 6 кВ) выводится из него. Вытяжка осуществляется вентиляторами, расположенными на крыше шкафа силовых блоков и управления.

Шкаф силовых блоков и управления имеет низковольтный отсек, где размещены элементы системы управления ВПЧ и клеммы подключения

вторичных цепей управления ВПЧ. Типовое расположение элементов системы управления в низковольтном отсеке шкафа силовых блоков и управления показано на рисунке 6. Питание элементов системы управления ВПЧ осуществляется от внешнего источника питания собственных нужд ВПЧ переменным током с напряжением 220 В, 50 Гц. Возможен вариант питания элементов системы управления от внешней трехфазной сети 380 В, 50 Гц при наличии нейтрального провода. В этом случае обеспечена возможность включения верхних вентиляторов без подачи высокого напряжения.

Оптоволоконные концентраторы с помощью оптоволоконных кабелей соединяются с силовыми блоками. Один оптоволоконный концентратор управляет работой силовых блоков одной фазы. Оптоволоконные концентраторы взаимозаменяемы. Модуль процессора имеет разъем подключения к контроллеру управления (PLC).

Модуль процессора выполняет прием команд с PLC; оцифровку аналоговых сигналов поступающих с модуля измерительных каналов; формирование ШИМ последовательности управляющих импульсов, размножаемой со сдвигом и распределяемой по СБ через оптоволоконные концентраторы, прием сигналов о состоянии СБ.

Модуль измерительных каналов выполняет функцию аналоговой обработки сигналов с преобразователей напряжений и токов и передачу их на модуль процессора. Обработываются сигналы:

- напряжения на выходе ВПЧ;
- напряжения на обмотке собственных нужд силового трансформатора (для косвенного контроля входного напряжения);
- входного и выходного тока по двум фазам;
- выпрямленного напряжения с первых силовых блоков (для контроля перенапряжения силовых блоков);
- частоты напряжения со статора двигателя (для выполнения пуска ВПЧ при вращающемся на выбеге роторе асинхронного двигателя);

- сигнал с измерительного трансформатора на секции питающего напряжения (3÷10 кВ) (опционально, для выполнения функции синхронизации выходного напряжения ВПЧ с напряжением питающей сети).

Блок контроллера управления предназначен для обработки дискретных и аналоговых сигналов управления ВПЧ. Блок состоит из верхней и нижней плат гальванической развязки и промышленного контроллера с модулями расширения. Верхняя плата гальванической развязки предназначена для подключения входных сигналов управления ВПЧ. Нижняя плата гальванической развязки обеспечивает подключение выходных сигналов управления ВПЧ и двух входных аналоговых сигналов.

Шкаф байпаса является опциональной составной частью ВПЧ. Шкаф байпаса предназначен для сборки схемы питания управляемого электродвигателя, как от ВПЧ, так и от сети. Шкаф байпаса выполняет следующие функции: - сборки схемы питания электродвигателя от ВПЧ; - сборки схемы питания электродвигателя от сети в обход ВПЧ; - перевода схемы с питания электродвигателя от ВПЧ на питание электродвигателя от сети; - отключения электродвигателя. Шкаф байпаса предназначен для коммутации питания электродвигателя мощностью до 11000 кВт и номинальным напряжением 6 кВ, 10 кВ.

Номинальное напряжение цепей оперативного тока в шкафу байпаса - переменное 220 В, по заказу может быть постоянное 220 В.

Допустимые номинальные токи шкафа байпаса, А: 160, 250, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600. Конструктивно шкаф байпаса состоит из двух секций, которые устанавливаются вплотную одна к другой. Соединение силовых электрических цепей секций выполнено в виде шин. В шкафу байпаса предусмотрена электромагнитная блокировка замков дверей, световая сигнализация состояния оборудования. Шкаф байпаса поставляется в двух основных вариантах – с вакуумными контакторами и с вакуумными выключателями.

Шкаф реактора является опциональной составной частью ВПЧ, поставляемой для обеспечения функции синхронного переключения питания двигателя с ВПЧ на сеть и обратно. Шкаф реактора предназначен для ограничения уравнивающих токов, вызванных неравенством мгновенных значений напряжения сети и напряжения на выходе преобразователя частоты.

В шкафу реактора размещен выходной согласующий реактор. При большой мощности в шкафу реактора размещается также вытяжной вентилятор и контроллер температуры. При подключении реактора обязательно требуется соблюдение фазности.

#### **12.4 Принцип работы**

В ВПЧ реализован принцип преобразования тока: переменный – постоянный – переменный. Преобразование тока производится в силовых блоках, выполненных на IGBT-транзисторах.

Трехфазное напряжение переменного тока от сети подается на многообмоточный силовой фазосдвигающий трансформатор. Каждая из 15 вторичных обмоток силового трансформатора (для ВПЧ с пятью СБ в фазе) питает один силовой блок.

Напряжения вторичных обмоток сдвинуты по фазе, что в целом обеспечивает работу ВПЧ с 30-ти пульсным выпрямлением. ВПЧ с шестью и девятью СБ на фазу имеют соответственно 36-ти и 54-х пульсное выпрямление питающего напряжения сети. Выходное напряжение фазы ВПЧ образуется путем суммирования выходных напряжений последовательно соединенных силовых блоков, принадлежащих одной фазе. Это позволяет использовать в силовых блоках IGBT-транзисторы, рассчитанные на напряжение, меньшее выходного фазного напряжения преобразователя.

Поскольку напряжение на выходе каждого силового блока формируется посредством ШИМ промежуточного постоянного напряжения, напряжение на выходе преобразователя образуется по принципу многоуровневой ШИМ и характеризуется низкими значениями пульсаций.



Входные цепи подключаются к одной из вторичных обмоток трансформатора. Напряжение с трансформатора через диодный трехфазный выпрямитель питает однофазный инвертор, состоящий из ключей на IGBT-транзисторах, для формирования напряжения ШИМ на выводах. После подачи по оптоволоконному кабелю управляющего сигнала на открытие и закрытие IGBT-транзисторов, силовой блок формирует импульсы выходного напряжения различной ширины, используя метод ШИМ.

Силовые блоки могут выполняться без функции «байпас» (по умолчанию) и с функцией «байпас» (опционально). Силовые блоки ВПЧ для управления синхронными двигателями выполняются без функции "байпас".

Система диагностики силового блока предусматривает фиксацию следующих аварий силового блока:

- перегрев силового блока;
- авария драйвера IGBT;
- авария питающего напряжения (пропадание фазы, понижение напряжения);
- перенапряжение силового блока;
- авария оптоволоконной связи.

В СБ, имеющем цепь байпаса, при неисправности предохранителя, перегреве СБ или аварии драйвера IGBT, автоматически включается байпас данного силового блока, обеспечивая возможность продолжения работы преобразователя.

При этом главный контроллер переведет в состояние "замкнуто" два соответствующих СБ в других фазах, или остановит работу ВПЧ, если байпас СБ запрещен в настройках ВПЧ. Реализация функции байпаса обеспечивается замыканием цепи байпаса "К" и сопровождается подачей сигнала о включении байпаса с СБ на главный контроллер.

Главный контроллер переведет в состояние "замкнуто" два соответствующих СБ в других фазах, или аварийно остановит работу ВПЧ, если байпас СБ запрещен в настройках ВПЧ.

Включение цепи байпаса индицируется миганием индикатора «Ошибка», на панели управления ВПЧ индицируется состояние «Байпас 1-ой группы СБ».

В режиме «байпаса» силового блока, снижается достижимое выходное напряжение преобразователя частоты, так как количество включенных силовых блоков на фазу оказывается меньше номинального.

Снижение напряжения при сохранении частоты может быть опасно для нагруженного двигателя, поэтому система управления ВПЧ ограничивает выходную частоту пропорционально потере напряжения.

Например, при байпасе СБ в ВПЧ с шестью блоками на фазу ограничение частоты составит  $(5/6)$  от максимальной частоты (41,6 Гц при максимальной частоте 50Гц).

Главный контроллер ВПЧ управляет силовыми блоками ВПЧ через оптоволоконные концентраторы. Панель управления ВПЧ позволяет оператору контролировать и изменять параметры преобразователя частоты, обеспечивает управление ВПЧ в местном режиме.

Панель управления предназначена также для хранения и архивирования журнала ошибок и графиков текущих параметров ВПЧ.

Контроллер управления (PLC) осуществляет прием и передачу внешних сигналов управления и контроля, контроль температурных параметров ВПЧ, закрытого состояния дверей, контроль питания вентиляторов, готовности главного контроллера, наличие связи с сенсорной панелью управления ВПЧ.

## **12.5 Интерфейс**

Внешние органы индикации и ручного управления ВПЧ:

- сенсорная панель управления ВПЧ;
- кнопка-грибок "Отключить высокое напр." и кнопка "Сброс неисправности";
- контроллер температуры шкафа трансформатора;
- контроллер температуры шкафа реактора; Кнопка-грибок "Отключить высокое напряжение" используется для аварийного отключения высокого

напряжения в случае возникновения нештатной ситуации с ВПЧ, двигателем или нагрузкой.

При нажатии кнопки "Отключить высокое напряжение" на панели управления ВПЧ отобразится сообщение о внешней неисправности.

После нажатия кнопка зафиксируется, чтобы снять фиксацию с кнопки, следует повернуть кнопку по часовой стрелке на 45°.

Не допускается использовать кнопку "Отключить высокое напряжение" для штатного останова двигателя.

В процессе штатной работы следует пользоваться функцией штатного останова «останов на выбеге» или функцией «медленный останов».

Рекомендуется оставлять кнопку нажатой во время проведения осмотра или ремонта как дополнительную защиту от подачи высокого напряжения. Кнопка "Сброс неисправности" используется для выключения аварийной сигнализации, после устранения неисправности, и возврата ВПЧ в состояние готовности к работе. Сенсорная панель управления установлена на двери отсека вторичных цепей шкафа силовых блоков и управления. Сенсорная панель управления предназначена для визуального контроля состояния ВПЧ и для настройки его функций при выполнении наладочных работ.

## **12.6 Функции**

Ввиду особенности конструкции, ВПЧ не может работать с номинальным напряжением на чисто индуктивную нагрузку, каковой является асинхронный двигатель без нагрузочного момента на валу (с расцепленной муфтой). Следствием такого режима работы является перезаряд конденсаторных батарей СБ первой группы, контролируемый ВПЧ.

Для обеспечения автоматического снижения напряжения на разгруженном асинхронном двигателе, введен настроечный параметр "Ток холостого хода. Если полный ток двигателя снижается ниже установленного значения "Тока холостого хода" и ВПЧ регистрирует повышение напряжения на СБ первой группы, то ВПЧ снижает выходное напряжение при сохранении значения частоты напряжения.

В результате происходит снижение реактивного тока двигателя и восстановление напряжения на конденсаторах СБ первой группы. Функция снижения выходного напряжения при разгрузке двигателя может быть выключена, установкой нулевого значения параметра "Стартовая частота". При работе с синхронным двигателем функция снижения выходного напряжения должна быть выключена.

Во время работы АД от ВПЧ на низких частотах и повышенных нагрузках, в соответствии с законом  $U/f = \text{const}$  величина выходного напряжения относительно невелика, а повышенное значение тока приводит к дополнительному падению выходного напряжения на сопротивлении обмоток статора, что приводит к снижению магнитного потока через ротор и сокращению перегрузочной способности двигателя.

Таким образом, при постоянном соотношении  $U/f$ , максимальный крутящий момент уменьшается с уменьшением частоты, что ведет к определенным трудностям во время пуска нагруженного двигателя, поэтому ВПЧ должен увеличивать выходное напряжение в области низких частот.

Для компенсации падения напряжения на активном сопротивлении обмотки статора асинхронного двигателя введен параметр "Повышение момента". Параметр позволяет поднять напряжение на нулевой частоте (при пуске двигателя) на величину, заданную в процентах от номинального выходного напряжения ПЧ.

Чрезмерное повышение крутящего момента может привести к перегрузке ВПЧ по току при старте. Обычно, достаточное значение параметра "повышение момента" составляет не более 2%. Параметр "повышение момента" действует иначе, если выполняется пуск синхронного двигателя с предварительно включенным возбуждением. В этом случае, на участке частот от нуля до пяти Герц, выполняется токовое регулирование, и значение параметра определяет величину поддерживаемого тока статора. Значение параметра, равное одному проценту соответствует, примерно, 10% номинального выходного тока ВПЧ.

Изменение частоты на выходе ПЧ выполняется главным контроллером с фиксированной скоростью. Скорости разгона и торможения определяются из настраиваемых значений параметров следующим образом: Параметры времени разгона и торможения доступны для изменения на странице "1/2" окна "Системные параметры".

Параметры определяют предельные динамические характеристики системы. Если "время разгона" слишком мало, то увеличение частоты будет происходить рывками с периодическим ограничением роста частоты из-за ограничения по току. Это может привести к аварии - превышению тока ВПЧ. Если "время торможения" слишком мало, то снижение частоты будет происходить неравномерно, и, в наиболее критическом случае, может привести к аварийной остановке по перенапряжению силовых блоков.

Функция синхронизации выходного напряжения ВПЧ с питающей сетью предназначена для обеспечения выполнения синхронных переключений питания работающего двигателя с выхода ВПЧ на сеть и с сети на ВПЧ. ВПЧ имеет вход для подключения сигнала "опорное напряжение синхронизации" с измерительного трансформатора напряжения (3 фазы, 100 В).

Вход должен быть подключен к трансформатору напряжения той секции, от которой запитан электродвигатель при работе от сети.

При поочередной работе с несколькими двигателями, питаемыми с разных секций, следует предусмотреть коммутацию входа сигнала "опорное напряжение синхронизации" на измерительные трансформаторы используемых секций.

Тип соединения вторичной обмотки должен строго соответствовать типу первичной обмотки (обычно, "Y/Y" , или "V/V").

ВПЧ переводится в режим синхронизации с сетью подачей команды "синхронизация с сетью".

Команда будет выполняться ВПЧ, если параметр "Синхронизация с сетью" имеет значение "Разрешена" (см. Рисунок 20 – Окно "Параметры функций" страница "1/2").

Выполняя команду синхронизации с сетью, ВПЧ прекращает выполнять задание частоты, и начинает процесс синхронизации выходного напряжения ВПЧ с напряжением сети по величине действующего значения напряжения и по фазе.

Рекомендуется подавать сигнал синхронизации, только если ВПЧ работает на частоте близкой к частоте сети, т.к. выполнение синхронизации сопровождается подъемом частоты вращения двигателя до частоты сети и может отрицательно повлиять на ход техпроцесса.

ВПЧ может быть выведен из режима синхронизации с сетью командой останова, или командой пуска.

В последнем случае, ВПЧ вернется к выполнению текущего задания частоты.

В процессе синхронизации ВПЧ поднимает частоту выходного напряжения до частоты напряжения сети, выполняет сведение величин напряжений и их фаз и поддерживает синхронизированное состояние двух напряжений до отмены режима синхронизации.

Если выполняются условия наличия синхронизации, ВПЧ формирует сигнал достижения синхронизации с сетью "Синхронизация есть" (XS15T:3,4).

Условия синхронизации: - разница первых гармоник напряжений сети и ВПЧ не более 5%; - разница фаз первых гармоник напряжений сети и ВПЧ не более 3 градусов; - первые два условия выполняются одновременно в течение не менее 0,2 секунд.

При нарушении одного из условий синхронизации ВПЧ снимает сигнал "Синхронизация есть".

Для выполнения синхронных переключений ВПЧ оснащается (опционально) реактором на выходе для ограничения уравнивающих токов.

## 13 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 13.1 Безопасность

В работе выполнена реконструкция системы электроснабжения багерной насосной станции на Благовещенской ТЭЦ с установкой современного оборудования – кабельные линии высоковольтные выключатели, преобразователи частоты, в данной работе так же рассмотрена частичная замена силового оборудования на секциях собственных нужд 6 кВ а так же замена силового трансформатора питающего данные секции.

**Общие требования охраны труда при работе на коммутационных аппаратах:** Допуск к работе на коммутационном аппарате разрешается после выполнения технических мероприятий, предусмотренных правилами по охране труда, обеспечивающих безопасность работы, включая мероприятия, препятствующие ошибочному срабатыванию коммутационного аппарата.

Для пробных включений и отключений коммутационного аппарата при его наладке и регулировке разрешается при несданном наряде-допуске временная подача напряжения в цепи оперативного тока, силовые цепи привода, а также подача воздуха на выключатели.

Установку снятых предохранителей, включение отключенных автоматов и открытие задвижек для подачи воздуха, а также снятие на время опробования плакатов безопасности должен осуществлять оперативный персонал.

Операции по опробованию коммутационного аппарата имеет право осуществлять производитель работ, если на это получено разрешение выдавшего наряд-допуск и подтверждено записью в строке «Отдельные указания» наряда-допуска, либо оперативный персонал по требованию производителя работ.

После опробования, при необходимости продолжения работы на коммутационном аппарате, оперативным персоналом должны быть выполнены технические мероприятия, требуемые для допуска бригады к работе.

Общие требования охраны труда при работе в комплектных распределительных устройствах: При работе на оборудовании тележки или в отсеке шкафа КРУ тележку с оборудованием необходимо выкатить в ремонтное положение; шторку отсека, в котором токоведущие части остались под напряжением, запереть на замок и вывесить плакат безопасности «Стоять! Напряжение»; на тележке или в отсеке, где предстоит работать, вывесить плакат «Работать здесь».

При работах вне КРУ на подключенном к нему оборудовании или на отходящих ВЛ и КЛ тележку с выключателем необходимо выкатить в ремонтное положение из шкафа; шторку или дверцы запереть на замок и на них вывесить плакаты «Не включать! Работают люди» или «Не включать! Работа на линии».

Оперировать выкатной тележкой КРУ с силовыми предохранителями разрешается под напряжением, но без нагрузки.

Устанавливать в контрольное положение тележку с выключателем для опробования и работы в цепях управления и защиты разрешается в тех случаях, когда работы вне КРУ на отходящих ВЛ, КВЛ и КЛ или на подключенном к ним оборудовании, включая механизмы, соединенные с электродвигателями, не проводятся или выполнено заземление в шкафу КРУ.

В РУ, оснащенных вакуумными выключателями, испытания дугогасительных камер повышенным напряжением с амплитудным значением более 20 кВ необходимо выполнять с использованием специального экрана для защиты работников от возникающих рентгеновских излучений.

**Общие требования охраны труда при работе на кабельных линиях:** Земляные работы на территории организаций, населенных пунктов, а также в охранных зонах подземных коммуникаций (электрокабели, кабели связи, газопроводы) должны начинаться только после получения письменного разрешения руководства организации, местного органа власти и владельца этих коммуникаций (соответственно). К разрешению должен быть приложен план (схема) размещения и глубины заложения коммуникаций (далее - план



коммуникаций). Местонахождение подземных коммуникаций должно быть обозначено соответствующими знаками или надписями как на плане (схеме), так и на месте выполнения работ.

При обнаружении не отмеченных на планах коммуникаций кабелей, трубопроводов, подземных сооружений, а также боеприпасов земляные работы следует прекратить до выяснения их принадлежности и получения разрешения от соответствующих организаций на продолжение работ.

Применение землеройных машин, отбойных молотков, ломов и кирок для рыхления грунта над кабелем разрешается производить на глубину, при которой до кабеля остается слой грунта не менее 30 см. Остальной слой грунта должен удаляться вручную лопатами.

Перед началом раскопок КЛ должно быть произведено контрольное вскрытие линии под надзором персонала организации - владельца КЛ.

Открытые муфты должны укрепляться на доске, подвешенной с помощью проволоки или троса к перекинутым через траншею брускам, и закрываться коробами. Одна из стенок короба должна быть съемной и закрепляться без применения гвоздей. Запрещается использовать для подвешивания кабелей соседние кабели, трубопроводы. Кабели следует подвешивать таким образом, чтобы не происходило их смещение. На короба, закрывающие откопанные кабели, следует вывешивать плакат безопасности «Стой! Напряжение».

Перед разрезанием кабеля или вскрытием муфт следует удостовериться в том, что работа будет выполняться на подлежащем ремонту кабеле, что этот кабель отключен и что выполнены технические мероприятия.

На рабочем месте подлежащий ремонту кабель определяется:

- при прокладке в туннеле, коллекторе, канале - прослеживанием, сверкой раскладки с чертежами и схемами, проверкой по биркам;
- при прокладке кабелей в земле - сверкой их расположения с чертежами прокладки.

Для этой цели должна быть предварительно прорыта контрольная траншея (шурф) поперек кабелей, позволяющая видеть все кабели.

Во всех случаях, когда отсутствует видимое повреждение кабеля, следует применять кабеле-искательный аппарат.

Перед разрезанием кабеля или вскрытием соединительной муфты необходимо проверить отсутствие напряжения с помощью специального приспособления, состоящего из изолирующей штанги и стальной иглы или режущего наконечника. На КЛ с двухсторонним питанием отсутствие напряжения проверяется проколом дистанционным способом с двух сторон от места повреждения кабеля или соединительной муфты.

В туннелях, коллекторах, колодцах, траншеях, где проложено несколько кабелей, и на других кабельных сооружениях приспособление должно быть с дистанционным управлением. Приспособление должно обеспечить прокол или разрезание оболочки до жил с замыканием их между собой и заземлением. Кабель у места прокалывания предварительно должен быть закрыт экраном.

При перекатке барабана с кабелем необходимо принять меры против захвата его выступами частей одежды.

До начала работ по перекатке барабана следует закрепить концы кабеля и удалить торчащие из барабана гвозди.

Барабан с кабелем разрешается перекатывать только по горизонтальной поверхности по твердому грунту или настилу.

Перекладывать кабель и переносить муфты следует после отключения кабеля. Перекладывать кабель, находящийся под напряжением, разрешается при условиях:

- перекладываемый кабель должен иметь температуру не ниже 5 градусов С;
- муфты на перекладываемом участке кабеля должны быть укреплены хомутами на досках;

- для работы должны использоваться диэлектрические перчатки, поверх которых для защиты от механических повреждений должны быть надеты брезентовые рукавицы;

- работа должна выполняться работниками, имеющими опыт прокладки, под надзором ответственного руководителя работ, имеющего группу V по электробезопасности, в электроустановках напряжением выше 1000 В и производителя работ, имеющего группу IV по электробезопасности, в электроустановках напряжением до 1000 В.

### **13.2 Экологичность**

Как указывалось, ранее в данной работе дополнительно предусматривается частичная реконструкция системы электроснабжения собственных нужд Благовещенской ТЭЦ в частности это касается замены силового вспомогательного трансформатора питания собственных нужд расположенного на пристанционном узле, после его замены на современный тип необходимо согласно [11] установить под ним устройство для сбора масла – маслоприемник (установленный в настоящее время маслоприемник выполнен с нарушениями и не соответствует требованиям [11]).

Тип принятого для установки трансформатора: ТРДНС 25000/10,5/6,3/6,3 номинальной мощностью 25 МВА и номинальным напряжением 10,5/6,3/6,3 кВ, габаритные размеры Д×Ш×В: 5,45×4,46×4,92 м и массой масла 15,99 т.

При определении геометрических характеристик маслоприемника учитываем следующие условия [11]:

1) Габариты маслоприемника выступают за габариты трансформатора на 1,5 м.

2) Маслоприемник должен предусматриваться закрытого типа, вмещающий полный объем масла, а также 80 % общего (с учетом 30-минутного запаса) расхода воды от средств пожаротушения [11].

Маслоприемник выполняем с установкой металлической решетки на маслоприемнике, поверх которой насыпан гравий или щебень толщиной слоя 0,25 м [11].

3) Маслоприемник оборудуется сигнализацией о наличии воды с выводом сигнала на щит управления. Внутренние поверхности маслоприемника, защищены маслостойким покрытием

Проводим расчет геометрических данных маслоприемника.

Определяем объем масла в трансформаторе по формуле:

$$V_{трм} = \frac{M}{\rho} \quad (83)$$

где  $M$  – масса масла в трансформаторе согласно паспортным данным.

$\rho$  – плотность масла 0,88 (т/м<sup>3</sup>)

$$V_{трм} = \frac{15,99}{0,88} = 18,17 \text{ (м}^3\text{)}$$

Определяем площадь маслоприемника по формуле:

$$S_{мн} = (A + 2 \cdot \Delta) \cdot (B + 2 \cdot \Delta) \quad (84)$$

где  $A$ ,  $B$  – длина и ширина трансформатора (м)

$\Delta$  – расстояние между боковой стенкой трансформатора и стенкой маслоприемника

$$S_{мн} = (5,45 + 2 \cdot 1,5) \cdot (4,46 + 2 \cdot 1,5) = 63,04 \text{ (м}^2\text{)}$$

Площадь боковой поверхности трансформатора:

$$S_{\delta n} = (A + B) \cdot 2 \cdot H \quad (85)$$

где  $H$  – высота трансформатора (м)

$$S_{\delta n} = (5,45 + 4,46) \cdot 2 \cdot 4,92 = 97,51 \text{ (м}^2\text{)}$$

Нормативный коэффициент пожаротушения  $K_n$  и нормативное время тушения  $t$  соответственно равны:

$$K_n = 0,2 \text{ (л/(с} \times \text{м}^2))$$

$$t = 1800 \text{ (сек)}$$

Определяем объем воды необходимый для тушения пожара:

$$V_{H_2O} = K_n \cdot t \cdot (S_{mn} + S_{bn}) \cdot 10^{-3} \quad (86)$$

$$V_{H_2O} = 0,2 \cdot 1800 \cdot (63,04 + 97,51) \cdot 10^{-3} = 57,8 \text{ (м}^3)$$

Определяем объем маслоприемника необходимый для приема 100 % масла и 80 % воды:

$$V_{mmH_2O} = V_{mpm} + 0,8 \cdot V_{H_2O} \quad (87)$$

$$V_{mmH_2O} = 18,17 + 0,8 \cdot 57,8 = 64,41 \text{ (м}^3)$$

Определяем глубину маслоприемника для приема всей жидкости  $V_{mmH_2O}$

$$H_{mn} = \frac{V_{mmH_2O}}{S_{mn}} \quad (88)$$

$$H_{mn} = \frac{64,41}{63,04} = 1,02 \text{ (м)}$$

Высота гравийной подушки согласно [11]:

$$H_z = 0,25 \text{ (м)}$$

Высота воздушной прослойки согласно [11]:

$$H_{en} = 0,05 \text{ (м)}$$

Полная высота маслоприемника [11]:

$$H_{nmm} = H_{mn} + H_{en} + H_z \quad (89)$$

$$H_{nmm} = 1,02 + 0,05 + 0,25 = 1,32 \text{ (м)}$$

### 13.3 Чрезвычайные ситуации

Рассмотрим различные аварийные ситуации для данного объекта: Чрезвычайная ситуация — это обстановка на объекте энергетики сложившаяся в результате возникновения какой-либо аварийной ситуации либо опасного явления природы, катастрофы, стихийного бедствия которая может повлечь за собой человеческие жертвы либо ущерб здоровью окружающих или природной среде, привести к материальным потерям либо нарушением условий жизнедеятельности.

Чрезвычайные ситуации разделяются на несколько видов по характеру источника, а также по ее масштабам.

Электроэнергетическая система это часть энергосистемы включая подключенных потребителей электрической энергией объединённых процессом выработки, передачи и потребления электрической энергии. Рассмотрим различные виды аварийных ситуаций на объектах электроэнергетики, аварии на объектах могут приводить к длительным перерывам электроснабжения потребителей значительных территорий, также к нарушению графиков движения транспорта, поражения людей электрическим током, транспортным авариям и так далее.

Рассмотрим подробно различные причины возникновения аварийных ситуаций, в первую очередь относим сюда погодные явления, обрывы проводов либо падение деревьев на них, разрушение опор воздушных линий электропередач из-за землетрясений либо наводнений, перегрузку оборудования из-за высокого потребления электрической энергии, износ оборудования в процессе его эксплуатации, человеческий фактор также являются причиной возникновения аварий, механические повреждения в результате выполнения каких-либо монтажных либо строительных работ,

Аварийные ситуации в электроэнергетике могут приводить к значительным перерывам электроснабжения нарушение дорожного движения отсутствие освещения в городе в темное время суток, нарушение работы различных предприятий, таких потребителей как телекоммуникации,

водопроводная сеть канализационная сеть, отопление и так далее, могут создавать угрозы работы медицинского оборудования в больницах, приводить к отсутствию связи, а также к различным бытовым неудобствам и так далее.

Рассмотрим предупредительные меры для предотвращения возникновения чрезвычайной ситуации, основной мерой по ликвидации ЧС на системах является своевременная и быстрая реакция специальных сил для борьбы с чрезвычайными ситуациями, необходимо вовремя выполнять ремонт электрооборудования, а также проводить информирование и разъяснение со специалистами, работающими и обслуживающими данное оборудование.

Также для борьбы с чрезвычайными ситуациями необходимо выполнять комплекс превентивных мер для снижения возникновения аварийной ситуации и либо уменьшения последствий в результате их прохождения.

В настоящее время системы электроснабжения являются очень сложными объектами с различными связями и взаимодействиями решение, вопросов связанных с проектированием таких объектов только при использовании вычислительной техники и математики систем связи и коммуникаций, на основе систем электроснабжения реализовано значительной сферой деятельности и взаимодействия работников, малейшие аварии на системах электроснабжения ведут значительному материальному и моральному ущербу при отключении и потребителей электрической энергии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе разработан проект современной системы электроснабжения первого и второго подъема багерной насосной станции СП Благовещенской ТЭЦ. В ходе выполнения работы проанализирована существующая система электроснабжения и определены ее основные недостатки, на основании этих данных проведены необходимые расчеты и выбрано современное оборудование. Все принятое к установке оборудование проверено по условиям протекания токов короткого замыкания. Дополнительно в данной работе, для повышения надежности электроснабжения потребителей, проведена модернизация секций 6 кВ собственных нужд СП Благовещенской ТЭЦ. Так же проведен расчет уставок микропроцессорных защит устанавливаемых на головных выключателях преобразователей частоты, рассмотрены вопросы в отношении безопасной эксплуатации оборудования. Определена общая стоимость реализации проекта системы электроснабжения.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Блок В.М. Электрические системы и сети. // В.М. Блок– М.: Высш.шк.,2016. – 430 с.
- 2 Блок В.М. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностях вузов //В. М. Блок, Г. К. Обушев и др.; Под ред. В.М.Блок – М.:Высш.шк.,2014. – 383 с.
- 3 Герасимов В.Г. Электротехнический справочник Т.3 //В. Г. Герасимов, П. Г. Грудинский, В. А. Лабунцов и др. – М.: Энергоатомиздат, 2013. – 880 с.
- 4 Идельчик В.И. Электрические системы и сети. // В.И. Идельчик – М.: Энергоатомиздат, 2015. – 592 с.
- 5 Лыкин А.В. Электрические системы и сети: Учебное пособие. // А.В. Лыкин – Новосибирск: Изд – во НГТУ, 2012. – 248 с.
- 6 Неклепаев Б. Н., Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования// Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков – М.: Энергоатомиздат, 2016. – 608 с.
- 7 Поспелов Г.Е. Электрические системы и сети. Проектирование: Учебное пособие для вузов.- 2-е изд., испр. и до п.// Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин – Мн.: Выш. Шк., 2013.-308с.: ил.
- 8 Файбисович Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей //Д.Л. Файбисович, И.Г. Карапетян – М.: ЭНАС, 2012. – 365 с.
- 9 Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов – М.: Энергоатомиздат, 2016.
- 10 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб и доп. – И.: Энергоатомиздат, 2016.
- 11 Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения – М: Высшая школа, 2018.

12 Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В., Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2013

13 Методика расчета нормативных (технологических) потерь электроэнергии в электрических сетях. Утверждена приказом Минпромэнерго России от 03 февраля 2010г. №21.

14 Железко Ю.С., Савченко О.В. Определение интегральных характеристик графиков нагрузки для расчета потерь электроэнергии в электрических сетях // Электрические станции. 2011. №10.

15 Железко Ю.С., Костюшко В.А., Крылов С.В., Потери электроэнергии, зависящие от погодных условий. Нормирование, анализ и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях, 2014.

16 Положение об организации в Министерстве промышленности и энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям утверждено приказом Минпромэнерго России от 04 октября 2018г. №267.

18 Бегентаев М.М. Экономика промышленности учебное пособие. – Издательство: Павлодар: Кереку Год: 2012

19 Нормативы затрат на ремонт в процентах от балансовой стоимости конкретных видов основных средств. СО 34.20.611-2003 ОАО РАО «ЕЭС России».– М, 2018.

20 Собурь С.В. Пожарная безопасность электроустановок – М. ПожКнига 2014.

ПРИЛОЖЕНИЕ А Выбор кабельных линий 6 кВ

Участок	$S_p$ (кВА)	$I_p$ (А)	Марка и сечение проводника	$I_{до}$ (А)
Сек 1РО – ПЧ-1	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
Сек 1РО – ПЧ-4	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
Сек 2Р – ПЧ-2	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
Сек 2Н – ПЧ-5	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
Сек 4Р – ПЧ-2	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
Сек 4Р – ПЧ-6	1026,98	94,77	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-1 – Доп. РУ 1 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-2 – Доп. РУ 1 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-3 – Доп. РУ 1 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-4 – Доп. РУ 2 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-5 – Доп. РУ 2 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
ПЧ-6 – Доп. РУ 2 подъем	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 1 подъем – БН-1	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 1 подъем – БН-2	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 1 подъем – БН-3	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 2 подъем – БН-4	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 2 подъем – БН-5	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2
Доп. РУ 2 подъем – БН-6	883,72	81,55	АПВп 3×50	127,2

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Выбор кабельных линий 0,4 кВ

Наименование потребителей	$I_p$ (А)	Марка кабеля и сечение	Ном. ток (А)	$I_{\text{до}}$ (А)
Шкаф питания потребителей первой группы (1-е питание)	26,67	АВВГнг 4×16	67,0	61,64
Шкаф питания потребителей первой группы (2-е питание)	26,67	АВВГнг 4×16	67,0	61,64
Шкаф питания потребителей второй группы (1-е питание)	26,67	АВВГнг 4×16	67,0	61,64
Шкаф питания потребителей второй группы (2-е питание)	26,67	АВВГнг 4×16	67,0	61,64
Шкаф питания потребителей третьей группы (1-е питание)	68,2	АВВГнг 4×25	80,0	73,6
Шкаф питания потребителей третьей группы (2-е питание)	68,2	АВВГнг 4×25	80,0	73,6

ПРИЛОЖЕНИЕ В Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

Наименование потребителей	$I_p$ (А)	Тип АВ	Ном. ток (А)	$I_{расч}$ (А)
Шкаф питания потребителей первой группы (1-е питание)	26,67	ВА04-36-34	31,5	200
Шкаф питания потребителей первой группы (2-е питание)	26,67	ВА04-36-34	31,5	200
Шкаф питания потребителей второй группы (1-е питание)	26,67	ВА04-36-34	31,5	200
Шкаф питания потребителей второй группы (2-е питание)	26,67	ВА04-36-34	31,5	200
Шкаф питания потребителей третьей группы (1-е питание)	68,2	ВА04-36-34	80	300
Шкаф питания потребителей третьей группы (2-е питание)	68,2	ВА04-36-34	80	300