Негосударственное образовательное учреждение
высшего образования
Московский технологический институт

Факультет техники и современных технологий Кафедра Энергетики

Уровень образования - Бакалавриат
Направление – Электроэнергетика и электротехника
Профиль - Электроснабжение

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
на тему:

«Реконструкция электрической части подстанции 110/10 кВ»

Студента Петрова Павла Васильевича_____
Ф.И.О. (полностью) (подпись)

Научный руководитель:
_____
ученая степень, звание Ф.И.О. (полностью) (подпись)

Допущена к защите:
Заведующий кафедрой Энергетики

к.т.н., Антаненкова Ирина Сергеевна_____
ученая степень, звание Ф.И.О. (полностью) (подпись)

« ____» _____ 20___ г.

Москва 2016 г.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....4
1. Описание деятельности предприятия и расчет нагрузок.....6
1.1 Состав и характеристика потребителей электроэнергии.....8
1.2 Расчет электрических нагрузок 0,4кВ.....17
1.3 Расчёт электрических нагрузок на стороне 10кВ.....26
1.4 Расчёт потерь мощности в цеховых трансформаторах.....27
1.5 Результаты расчёта электрических нагрузок 10кВ.....28
1.6 Расчёт компенсации реактивной мощности на стороне 10кВ.....30
2. Выбор электротехнического оборудования подстанции.....32
2.1 Выбор трансформаторов ГПП.....32
2.2 Выбор схемы электроснабжения предприятия.....33
2.3 Расчет токов короткого замыкания.....36
2.4 Выбор оборудования ОРУ-110кВ.....46
2.5 Выбор оборудования ЗРУ-10кВ.....50
2.6 Выбор вида и источников оперативного тока.....55
2.7 Выбор трансформаторов собственных нужд ГПП.....57
2.7 Определение видов учета электроэнергии и электрических измерений 60
3. Безопасность и экологичность проекта.....65
3.1 Расчёт защитного заземления ГПП.....65
3.2 Расчет молниезащиты ГПП.....68
3.3 Анализ опасных и вредных факторов.....71
3.3.1 Микроклимат.....73

3.3.2 Производственное освещение.....75
3.3.3 Шум и вибрация.....76
3.3.4 Электробезопасность.....79
3.4 Защита окружающей среды.....86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....88
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....89

ВВЕДЕНИЕ

Экономический подъем, наметившийся в последние годы в России, вызвал рост темпов строительства зданий, сооружений и промышленных, предприятий различного назначения, что привело к увеличению потребления электроэнергии, созданию новых и реконструкции действующих электроустановок.

Электроэнергетика же является одной из наиболее опасных отраслей хозяйства, но в то же время необходимой для обеспечения жизнедеятельности людей. Качество проектирования непосредственно влияет практически на все стадии жизненного цикла электроустановок, от него зависят надежность, работоспособность, долговечность и другие не менее важные характеристики.

Система электроснабжения предназначена для обеспечения электрической энергией промышленных электроприемников, являющихся неотъемлемой частью технологического процесса или служащих для поддержания работоспособности предприятия. Для эффективного функционирования предприятия, схема электроснабжения должна обеспечивать установленные ГОСТом показатели качества электроэнергии, необходимый уровень надежности и безопасности.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка проекта реконструкции тупиковой подстанции завода производственного оборудования ОАО «Строительные машины». В связи с проводимой модернизацией производства и заменой морально и физически устаревшего оборудования возникла необходимость реконструкции системы электроснабжения, в частности заводской понизительной подстанции.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть деятельность предприятия и произвести расчет нагрузок, при необходимости, провести расчет компенсации реактивной мощности.
2. Произвести выбор электротехнического оборудования подстанции и схемы электроснабжения.
3. Произвести расчет токов короткого замыкания.
4. Выбрать источники оперативного тока и трансформаторы собственных нужд.
5. Произвести расчет защитного заземления ГПП и молниезащиты.

1. Описание деятельности предприятия и расчет нагрузок

Завод производственного оборудования ОАО «Строительные машины» осуществляет выпуск различных машин и механизмов производственного назначения.

Предприятие относится к машиностроительной промышленности с неполным технологическим циклом производства (имеет литейное производство, но не имеет металлургической базы).

Завод является предприятием средней мощности. Работа ведётся в две смены. В минимальном режиме нагрузка составляет 25% от нагрузки в нормальном режиме.

Источником питания для данного предприятия являются разные секции сборных шин 110кВ РПП. Расстояние от РПП – 15 км. Питание осуществляется по двум воздушными ЛЭП. Мощность КЗ на шинах источника 2000 МВА. Предельно допустимое потребление реактивной мощности в часы максимальных нагрузок энергосистемы $tg\varphi=0,4$ о.е.

Производственная структура предприятия учитывает организацию основных, вспомогательных подразделений (цехов, участков) и функциональных (обслуживающих) подразделений.

Взаимным расположением зданий и сооружений на территории предприятия, а также размещением в них основных подразделений выполняется требование поточности производственного процесса, предусматривающего кратчайшие пути транспортирования изделия по всему технологическому циклу – от запуска в производство исходных материалов до выхода с предприятия готовой продукции.

На рисунке 1.1 представлен генплан завода, состоящего из 16 зданий. В таблице 1.1 приведен состав цехов завода.

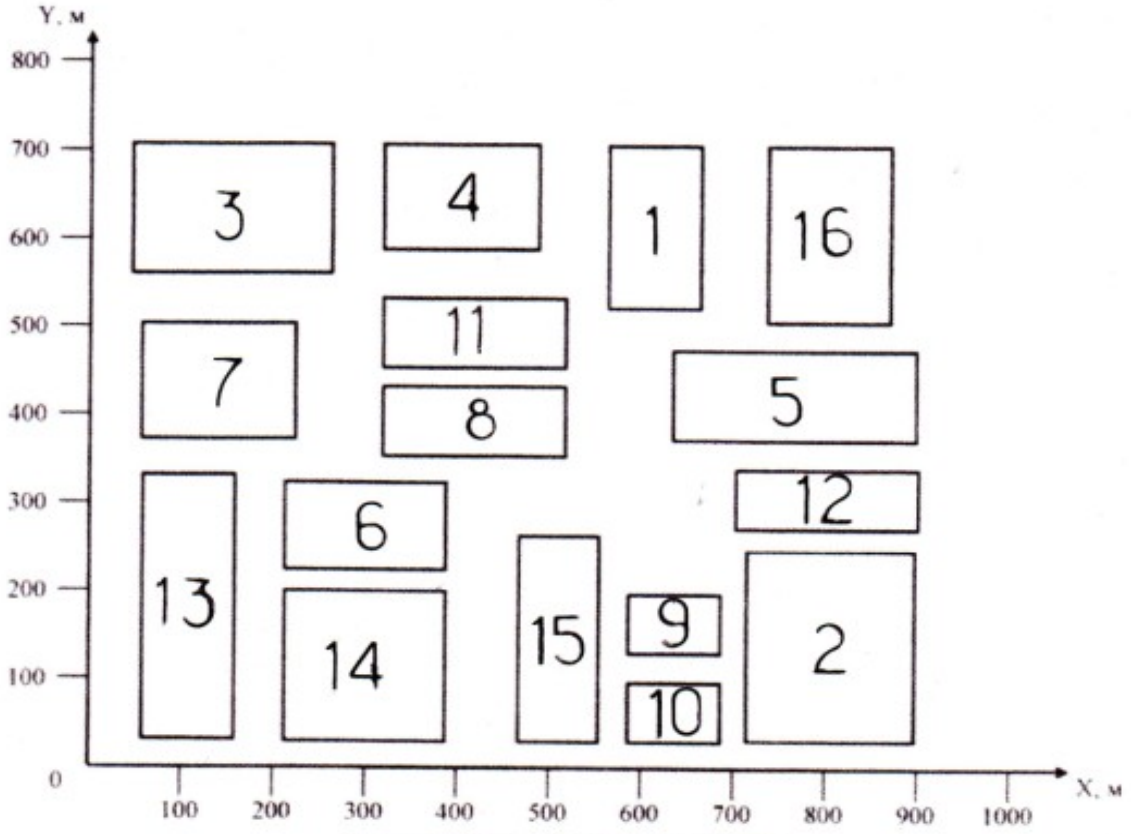

Рисунок 1.1 – Генплан предприятия

Таблица 1.1 – Состав цехов завода

№ цеха	Наименование цеха	Размеры цеха, м	Площадь цеха, $м^2$
1	Испытательный цех	100x180	18000
2	Прессовый цех	180x220	39600
3	Литейный цех №1	210x145	30450
4	Литейный цех №2	170x115	19550
5	Механосборочный цех	265x100	26500
6	Инструментальный цех	170x100	17000
7	Термический цех	164x128	20992
8	Сварочный цех	195x76	14820
9	Котельная	100x65	6500
10	Компрессорная	100x65	6502
11	Склад заготовок	195x76	14820
12	Склад готовой продукции	195x61	11895
13	Административный корпус	100x260	26000
14	Сборочный цех №1	170x170	28900
15	Цех лакокрасочных покрытий	85x240	20400
16	Сборочный цех №2	128x210	26880

1.1 Состав и характеристика потребителей электроэнергии

В литейных цехах производится первичная переработка металла. Расплав металла происходит в дуговых печах, доведение его до необходимого химического состава происходит в индукционных печах. Разливку металла по формам осуществляют автоматические линии розлива металла, автоматические линии формовки и автоматические линии смесеприготовления.

Питание дуговых и индукционных печей осуществляется напряжением 10кВ переменного тока промышленной частоты.

Вспомогательными электроприемниками литейного цеха являются: транспортёры, насосы, вентиляция. Приводы вспомогательных механизмов работают в продолжительном режиме. Питание вспомогательного оборудования цеха осуществляется от сетей переменного тока промышленной частоты, напряжение питания - 380 В.

Прессовый цех служит для обработки металла и заготовок давлением. Основными электроприемниками цеха являются прессы и печи (индукционные и сопротивления). Режим работы прессов и печей продолжительный, напряжение питания переменное – 380В. К вспомогательным электроприемникам этого цеха относятся: металлорежущие станки, транспортёры, вентиляция. Режим работы этих устройств также продолжительный.

Термический цех предназначен для химико-термической обработки металлических изделий. Основными электроприемниками цеха являются электрические печи (индукционные и сопротивления), в которых металл нагревается до температуры 700-900^{0}С и выдерживается некоторое время при этой температуре. К вспомогательным электроприемникам этого цеха относятся: подъёмно-транспортные механизмы (ПТМ), насосы, вентиляторы. Режим работы приводов печей, насосов, вентиляторов – продолжительный, ПТМ – повторно-кратковременный. Напряжение питания электроприёмников – переменное 380 В.

Механосборочный цех обеспечивает сборку узлов и общую сборку изделий выпуска завода с использованием всех комплектующих, поступающих из подразделений производства. Электроприемниками цеха являются автоматические линии механообработки, металлообрабатывающие станки (токарные, сверлильные, фрезерные), точечная сварка. К вспомогательным электроприемникам этого цеха относятся: ПТМ, насосы,

вентиляторы. Режим работы приводов механизмов продолжительный. Напряжение питания переменное – 380В.

В цехе лакокрасочных покрытий происходит окраска изделий на автоматических окрасочных линиях и окрасочных камерах. К вспомогательному оборудованию относятся транспортёры, насосы, вентиляторы, оборудование краскоприготовления. Режим работы приводов механизмов продолжительный. Напряжение питания электроприемников – трехфазное переменное 380В.

В испытательном цехе подвергают испытаниям готовые изделия на соответствие их свойств государственным стандартам. Основными электроприёмниками являются различные виды испытательных стендов. Режим работы приводов - повторно-кратковременный. Вспомогательными электроприемниками испытательного цеха являются: подъёмно-транспортные механизмы, вентиляция. Питание электроприёмников осуществляется от сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В.

Инструментальный цех является вспомогательным и предназначен для ремонта и восстановления специального режущего, крепежно-зажимного, измерительного инструмента, а также изготовления и ремонта приспособлений для станочных, сборочных, контрольных работ: штампы, пресс-формы и т.д.

Основными электроприемниками инструментального цеха являются металлообрабатывающие станки (шлифовальные, токарные, сверлильные, фрезерные) и автоматические линии. Режим работы приводов станков продолжительный. Питание осуществляется от сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В.

Сварочный цех – предназначен для сварки составных частей изделий. Основными электроприёмниками являются сварочные машины (дуговые, шовные, точечные, стыковые). К вспомогательным электроприемникам этого цеха относятся: подъёмно-транспортные механизмы, вентиляторы, ножницы.

Режим работы приводов механизмов продолжительный. В повторно-кратковременном режиме работают подъёмно-транспортные механизмы. Напряжение питания - трехфазное переменное 380 В.

Сборочные цеха обеспечивают сборку готовых изделий. Электроприемниками цехов являются автоматические линии механообработки. К вспомогательным электроприемникам этого цеха относятся: подъёмно-транспортные механизмы, вентиляторы. Режим работы приводов механизмов продолжительный. Напряжение питания переменное – 380В.

Компрессорная служит для производства сжатого воздуха, необходимого в технологическом процессе (для прессов и устройств обработки металла давлением). Основными потребителями компрессорной являются компрессоры. Режим работы приводов компрессоров - продолжительный, график нагрузки практически постоянный. Напряжение питания электродвигателей компрессоров - трехфазное переменное10 кВ и 380 В.

Котельная служит для производства горячей воды и перегретого пара, необходимых как в технологическом процессе, так и в бытовых целях (отопление). Основными электроприемниками котельной являются насосы. Режим работы насосов продолжительный. Все потребители котельной относятся к первой категории бесперебойности питания. Напряжение питания насосов – переменное 380 В.

Склад заготовок необходим для временного хранения сырья и заготовок. На складе установлено подъёмно-транспортное оборудование. Напряжение питания электроприемников – переменное 380В.

Склад готовой продукции необходим для временного хранения готовой продукции до её отгрузки потребителям. На складе установлено подъёмно-транспортное оборудование. Напряжение питания электроприемников – переменное 380В.

Административный корпус. Основными потребителями электрической энергии здесь являются офисная техника, кондиционеры, нагревательные приборы. Напряжение питания электроприемников – однофазное переменное 220 В.

Электроосвещение цехов является однофазным потребителем. Напряжение питания переменное - 220 В. Все светильники в цехах размещаются равномерно на три фазы, что снижает мигание источников света и уменьшает несимметрию напряжения цеховых сетей.

Высоковольтные двигатели компрессоров в компрессорной работают в продолжительном режиме, толчки нагрузки имеют место только при пуске. Перерыв в электроснабжении компрессоров недопустим и может повлечь за собой опасность для жизни людей, серьезное нарушение технологического режима, что дает основание отнести их к потребителям I категории.

К нагрузкам первой категории также относят пожарные насосы, электроприемники компрессорной, работа которых необходима для поддержания технологического процесса, а также аварийное освещение, устройства связи и сигнализации.

Остальные электроприемники цехов относятся ко 2-й и 3-й категории по надежности электроснабжения.

Исходная ведомость потребителей электроэнергии с распределением по цехам представлена в таблицах 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2 – Характеристики групп электроприёмников напряжением 0,4кВ

Группы ЭП	Количество ЭП, n_i	Мощность ЭП P, кВт	$K_и$, о.е.	cosφ, о.е.	tgφ, о.е.
1	2	3	4	5	6
1 Испытательный цех					
1.1 Стенды испытаний	15	25	0,8	0,85	0,76
1.2 Лабораторные нагревательные приборы, автоклавы	4	75	0,3	0,96	0,292
1.3 Вентиляторы	10	25	0,65	0,8	0,75
1.4 Подъемно-транспортные механизмы (ПТМ)	4	25	0,1	0,5	1,732
1.5 Транспортеры	3	30	0,4	0,75	0,88
1.6 Приборы лабораторий	30	2	0,08	0,5	1,732
2 Прессовый цех					
2.1 Электропечь сопротивления	5	100	0,8	0,95	0,32
2.2 Индукционная печь U=0,4кВ f=50Гц	5	80	0,7	0,8	0,75
2.3 Индукционная печь U=0,4кВ f=50Гц	3	50	0,7	0,8	0,75
2.4 Транспортеры	6	24	0,4	0,75	0,882
2.5 Поточно-механизированные линии холодной штамповки	4	65	0,35	0,7	1,02
2.6 Автоматические линии для резки рулонного метал листа	8	39	0,23	0,65	1,169
2.7 Прессы	15	50	0,43	0,65	1,169
2.8 Металлорежущие станки	10	20	0,16	0,5	1,732
2.9 Вентиляторы	8	30	0,65	0,8	1,169
3. Литейный цех №1					
3.1 Авт. линия формовки	6	75	0,4	0,75	0,882
3.2 Авт. линия смесеприготовления	6	55	0,4	0,75	0,882
3.3 Автоматич. линия розлива металла	6	110	0,27	0,65	1,169
3.4 Индукционная печь	6	100	0,7	0,8	0,62
3.5 Транспортеры	12	75	0,4	0,65	1,169
3.6 Насосное оборудование	21	15	0,7	0,80	0,75
3.7 Насосное оборудование	7	55	0,7	0,80	0,75

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6
4. Литейный цех №2					
4.1 Авт. линия формовки	6	70	0,4	0,75	0,882
4.2 Авт. линия смесеприготовления	6	45	0,4	0,75	0,882
4.3 Индукционная печь U=0,4кВ f=50Гц	6	150	0,7	0,85	0,619
4.4 Вентиляторы	15	30	0,65	0,8	0,75
4.5 ПТМ	4	25	0,1	0,5	1,732
4.6 Транспортеры	3	37	0,4	0,75	0,882
4.7 Насосное оборудование	10	25	0,7	0,85	0,62
5. Механосборочный цех					
5.1 Токарные станки	31	22	0,17	0,5	1,732
5.2 Станок сверлильный	10	18,5	0,17	0,5	1,732
5.3 Фрезерные станки	10	30	0,17	0,5	1,732
5.4 Вентиляторы	15	11	0,65	0,8	0,75
5.5 Насосы системы охлаждения	15	7,5	0,65	0,80	0,75
5.6 Автоматические линии мех. обработки	9	110	0,55	0,75	0,88
5.7 ПТМ	6	15	0,1	0,5	1,732
5.8 Автоматы шлифовально-полировочные	18	22	0,25	0,65	1,169
5.9 Машины точечной сварки 110кВА	4	65	0,20	0,6	1,333
6. Инструментальный цех					
6.1 Токарные станки	18	20	0,17	0,5	1,732
6.2 Станок шлифовальный	18	18	0,17	0,5	1,732
6.3 Станок сверлильный	18	11	0,17	0,5	1,732
6.4 Многошпиндельные автоматы для изготовления деталей из прутков (болтов, шпилек, гаек, стержней, шайб, колец для подшипников и т.п.)	15	15	0,15	0,6	1,333
6.5 Полуавтоматы для холодной штамповки, изготовления винтов, шурупов и шплинтов, штамповки шариков и роликов	15	20	0,17	0,65	1,169
6.6 Фрезерные станки	18	20	0,17	0,5	1,732
6.7 Вентиляторы	30	20	0,65	0,8	1,169
6.8 Насосы	10	15	0,7	0,85	0,62
6.9 Электропечь сопротивления	4	150	0,8	0,95	0,32

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6
7. Термический цех					
7.1 Электропечь сопротивления	6	60	0,8	0,95	0,32
7.2 Эл.печи сопротивления с непрерывной загрузкой	6	90	0,7	0,95	0,32
7.3 Индукционная печь f=50Гц	3	75	0,7	035	2,67
7.4 Вентиляторы	20	20	0,65	0,8	0,75
7.5 Транспортер	3	40	0,4	0,75	0,88
7.6 Автоматические линии термообработки	3	60	0,65	0,9	0,48
7.7 Краны	3	31	0,3	0,5	1,732
7.8 Насосы систем охлаждения	10	22	0,7	0,85	0,62
8. Сварочный цех					
8.1 Краны	3	25	0,3	0,5	1,732
8.2 Транспортер	4	45	0,4	0,75	0,88
8.3 Автоматические линии мех. обработки	4	90	0,55	0,75	0,88
8.4 Вентиляторы	20	15	0,65	0,8	0,75
8.5 Установки автоматической и полуавтоматической плазменной сварки и резки	7	70	0,4	0,6	1,333
8.6 Сварочные трансформаторы для дуговой сварки	10	50	0,35	0,5	1,732
8.7 Сварочные машины шовные	10	35	0,3	0,7	1,02
8.8 Сварочные машины стыковые и точечные	10	25	0,25	0,6	1,333
8.9 Ножницы листовые, сортовые, арматурные	10	21	0,12	0,5	1,732
8.10 Переносной электроинструмент	50	1,0	0,06	0,5	1,732
9. Котельная					
9.1 Автоматика котлов	3	9	0,7	0,85	0,619
9.2 Сетевые насосы	3	45	0,7	0,85	0,619
9.3 ГВС	3	20	0,7	0,85	0,619
9.4 ХВС	3	20	0,7	0,85	0,619
9.5 Насосы ХВП	3	15	0,7	0,85	0,619
9.6 Линия рециркуляции	3	15	0,7	0,85	0,619
9.7 Насосы подпитки тепловой сети	3	20	0,7	0,85	0,619
9.8 Насосы питательных котлов	3	20	0,7	0,85	0,619
9.9 Вентиляторы дымососов	6	15	0,6	0,8	0,75

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6
10. Компрессорная					
10.1 Компрессор 1 Синхронный двигатель (0,4кВ)	4	28	0,7	0,88	0,619
10.2 Компрессор 2 Синхронный двигатель (0,4кВ)	3	60	0,75	0,91	0,46
11. Склад заготовок					
11.1 Кран козловой ПВ-40%	2	30	0,1	0,5	1,732
11.2 Транспортеры	2	40	0,4	0,75	0,882
11.3 Офисная техника	5	2	0,35	0,9	0,48
12. Склад готовой продукции					
12.1 Кран козловой ПВ-40%	2	4	0,1	0,5	1,732
12.2 Транспортеры	2	21	0,4	0,75	0,882
12.3 Офисная техника	15	2	0,35	0,9	0,48
13. Административный корпус					
13.1 Офисная техника	100	2	0,35	0,9	0,48
13.2Система кондиционирования	40	6	0,65	0,8	0,75
13.3 Бытовые нагревательные	40	2	0,4	0,95	0,32
13.4 Тепловые завесы	4	5	0,55	0,8	0,75
14. Сборочный цех №1					
14.1 Краны	3	31	0,3	0,5	1,732
14.2 Транспортер	3	25	0,4	0,75	0,88
14.3 Автоматические линии мех. обработки	3	80	0,55	0,75	0,88
14.4 Вентиляторы	10	11	0,65	0,8	0,75
14.5 Переносной электроинструмент	40	1,0	0,06	0,5	1,732
15. Цех лакокрасочных покрытий					
15.1 Эл оборудование механических и автоматических линий подготовки поверхностей	10	16	0,5	0,8	0,75
15.2 Конвейер	3	80	0,4	0,75	0,882
15.3 ПТМ	8	20	0,1	0,5	1,732
15.4 Насосное оборудование	2	26	0,7	0,85	0,62
15.5 Унифицированная камера окраски методом напыления	10	8	0,55	0,7	1,02
15.6 Автоматическая комплексная линий лакокрасочных покрытий	5	30	0,6	0,8	0,75
15.7 Камеры охлаждения изделий после окраски и сушки	20	11	0,55	0,7	1,02

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6
16. Сборочный цех №2					
16.1 Краны	3	31	0,3	0,5	1,732
16.2 Транспортер	3	25	0,4	0,75	0,88
16.3 Автоматические линии мех. обработки	3	80	0,55	0,75	0,88
16.4 Вентиляторы	10	11	0,65	0,8	0,75
16.5 Переносной электроинструмент	40	1,0	0,06	0,5	1,732

Таблица 1.3 – Характеристика электроприёмников напряжением 10кВ

Группы ЭП	Количество ЭП, n_i	Мощность ЭП P, кВт	$K_и$, о.е.	cosφ, о.е.	tgφ, о.е.
1. Литейный цех №1					
1.1 Индукционная печь ИАТ-10/0,2 С3 10кВ f=50Гц	2	200	0,7	0,8	0,75
1.2 Дуговая сталеплавильная печь без механизированной загрузки ДСП(Т)-1,25-М	2	1250	0,6	0,85	0,62
2. Литейный цех №2					
2.1 Индукционная печь ИАТ-10/0,4 С3 10кВ f=50Гц	4	400	0,7	0,8	0,75
3. Компрессорная					
3.1 Компрессор (синхронный двигатель 10кВ СТД)	2	630	0,7	0,85	0,62
3.2 Компрессор (синхронный двигатель 10кВ СТД)	4	400	0,7	0,85	0,62

1.2 Расчет электрических нагрузок 0,4кВ

Основными элементами систем электроснабжения промышленных предприятий являются электрические сети, а также различные трансформаторные и преобразовательные подстанции. Выбор этих элементов производится по расчетным электрическим нагрузкам. Занижение расчетных нагрузок приведет к перегревам элементов систем электроснабжения и ускоренному их износу, завышение расчетных нагрузок проводит к излишним капиталовложениям и затратам на системы электроснабжения.

В качестве основного метода определения расчетных силовых нагрузок используем метод упорядоченных диаграмм, этот метод основан на связях между расчетной нагрузкой и индивидуальными показателями отдельных электроприемников, эти индивидуальные показатели рассматриваются как случайные величины, значение которых определяют упорядоченными диаграммами расчетной нагрузки и её величиной.

Для группы электроприемников одного режима работы определяем среднесменные активную и реактивную нагрузки:

а) среднесменная активная нагрузка $P_{\text{СР.СМ.i}}$, кВт:

$$P_{\text{ср.см}.i} = k_{\text{и}i} \cdot \sum_{1}^{n_i} P_{\text{ном}.i}, \quad (1.1)$$

где $k_{\text{и}i}$ – коэффициент использования i-го ЭП, о.е.;

n_i – число ЭП каждого типа, шт.

б) среднесменная реактивная нагрузка $Q_{\text{СР.СМ.i}}$, кВар:

$$Q_{\text{ср.см}.i} = P_{\text{ср.см}.i} \cdot \text{tg}\varphi_i, \quad (1.2)$$

где $\text{tg}\,\varphi_i$ – коэффициент мощности ЭП, о.е.

Суммарная среднесменная нагрузка всех ЭП цеха определяется:

а) суммарная среднесменная активная нагрузка $P_{\text{СР.}\Sigma}$, кВт:

$$\text{P}_{ср.\Sigma} = \sum_{1}^{\text{k}} \text{P}_{ср.см.\text{i}} . \quad (1.3)$$

б) суммарная среднесменная реактивная нагрузка $Q_{\text{СР.}\Sigma}$, кВар:

$$\text{Q}_{ср.\Sigma} = \sum_{1}^{\text{k}} \text{Q}_{ср.см.\text{i}} . \quad (1.4)$$

Средний коэффициент использования $k_{\text{И.СР}}$, о.е. для группы электроприемников:

$$\text{K}_{и.ср} = \frac{\text{P}_{ср.\Sigma}}{\sum_{1}^{\text{k}} \sum_{1}^{\text{n}_i} \text{P}_{ном.\text{i}}} . \quad (1.5)$$

Эффективное число электроприемников $n_{ЭФ}$, шт, - это такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое дает то же значение расчетного максимума, что и группа электроприемников, различных по мощности и режиму работы:

$$n_{эф} = \frac{\left(\sum_{1}^{k}\sum_{1}^{n_i} P_{ном.i}\right)^2}{\sum_{1}^{k}\sum_{1}^{n_i} P_{ном.i}^2}. \qquad (1.6)$$

При числе электроприемников в группе четыре и более допускается принимать $n_{ЭФ}$ равным n (действительному числу электроприемников) при условии, что отношение номинальной мощности наибольшего электроприёмника к номинальной мощности наименьшего менее $m \leq 3$. При определении отношения, допускается исключать мелкие электроприемники, суммарная мощность которых не превышает 5% номинальной мощности всей группы.

Коэффициент максимума $k_М$, о.е., определяется по выражению:

$$k_{м} = 1 + \frac{1,4}{\sqrt{n_{эф} - 1}} \cdot \sqrt{\frac{1 - 1,2 \cdot k_{и.ср}}{k_{и.ср} - 0,01}}. \qquad (1.7)$$

Расчетные активная, реактивная и полная нагрузка цеха:

а) расчетная активная нагрузка $P_Р$, кВт:

$$P_{рц} = k_{м} \cdot P_{ср.\Sigma}. \qquad (1.8)$$

б) расчетная реактивная нагрузка $Q_Р$, кВар:

$$Q_{рц} = Q_{ср.\Sigma} \text{ при } n_{эф} > 10; \qquad (1.9)$$

$$Q_{рц} = 1,1 \cdot Q_{ср.\Sigma} \text{ при } n_{эф} < 10. \qquad (1.10)$$

в) расчетная полная нагрузка $S_Р$, кВА:

$$S_{рц} = \sqrt{P_{рц}^2 + Q_{рц}^2}. \qquad (1.11)$$

Для примера определим расчётные мощности для группы вентиляторов испытательного цеха.

По справочнику выбираем $k_и$=0,65; $\operatorname{tg}\varphi$=0,75, тогда:

$P_{см.1} = 0,65 \cdot 10 \cdot 25 = 162,5$ кВт;

$Q_{см.1} = 162,5 \cdot 0,75 = 121,9$ кВАр.

Для остальных групп электроприёмников расчёт производим аналогично, результаты расчета сводим в таблицу 1.4.

Суммарная среднесменная нагрузка всех ЭП цеха:

$$P_{ср.\Sigma} = 300,0 + 90,0 + 162,5 + 10,0 + 36,0 + 4,8 = 603,3 \text{ кВт;}$$

$$Q_{ср.\Sigma} = 186,0 + 26,3 + 121,9 + 17,3 + 31,7 + 8,3 = 391,5 \text{ кВАр.}$$

Находим групповой коэффициент использования:

$$K_{и.гр} = \frac{603,3}{1175,0} = 0,51.$$

Эффективное число электроприёмников:

$$n_{ЭФ} = \frac{(25 \cdot 15 + 75 \cdot 4 + 25 \cdot 10 + 25 \cdot 4 + 30 \cdot 3 + 2 \cdot 30)^2}{25^2 \cdot 15 + 75^2 \cdot 4 + 25^2 \cdot 10 + 25^2 \cdot 4 + 30^2 \cdot 3 + 2^2 \cdot 30} = \frac{1175,0^2}{43445,0} = 31,8.$$

Так как $n_{ЭФ}$>10, то коэффициент максимума рассчитываем по формуле:

$$K_M = 1 + \frac{1,4}{\sqrt{32 - 1}} \cdot \sqrt{\frac{1 - 1,2 \cdot 0,51}{0,51 - 0,01}} = 1,2.$$

Расчётные максимумы активной и реактивной нагрузки:

$$P_P = 1,2 \cdot 603,3 = 736,2 \text{ кВт;}$$

$$Q_P = 391,5 \text{ кВАр.}$$

Полная расчётная нагрузка:

$$S_P = \sqrt{736,2^2 + 391,5^2} = 833,8 \text{ кВА.}$$

Для остальных цехов расчёт производим аналогично, результаты расчета сводим в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Расчёт электрических нагрузок 0,4кВ

№ п/п	Наименование ЭП	n, шт.	$P_{ном}$, кВт	$K_и$, о.е.	tgϕ	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	$n_{эф}$	$K_{и\,ср}$	$K_м$	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1) Испытательный цех													
1.	Стенды испытаний	15	25	0,8	0,62	300,0	186,0						
2.	Лабораторные нагревательные приборы, автоклавы	4	75	0,3	0,29	90,0	26,3						
3.	Вентиляторы	10	25	0,65	0,75	162,5	121,9						
4.	Подъемно-транспортные механизмы (ПТМ)	4	25	0,1	1,73	10,0	17,3						
5.	Транспортеры	3	30	0,4	0,88	36,0	31,7						
6.	Приборы лабораторий	30	2	0,08	1,73	4,8	8,3						
	Итого по цеху:					603,3	391,5	31,8	0,51	1,2	736,2	391,5	833,8
2) Прессовый цех													
1.	Электропечь сопротивления	5	100	0,8	0,32	400,0	128,0						
2.	Индукционная печь U=0,4кВ f=50Гц	5	80	0,7	0,75	280,0	210,0						
3.	Индукционная печь U=0,4кВ f=50Гц	3	50	0,7	0,75	105,0	78,8						
4.	Транспортеры	6	24	0,4	0,88	57,6	50,7						
5.	Поточно-механизированные линии холодной штамповки	4	65	0,35	1,02	91,0	92,8						
6.	Автоматические линии для резкирулонного метал листа	8	39	0,23	1,17	71,8	83,9						
7.	Прессы	15	20	0,43	1,17	129,0	150,8						
8.	Металлорежущие станки	10	20	0,16	1,73	32,0	55,4						
9.	Вентиляторы	8	30	0,65	0,75	156,0	117,0						
	Итого по цеху:					1322,4	967,4	45,1	0,53	1,2	1557,0	967,4	1833,0

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3) Литейный цех №1													
1.	Авт. линия формовки	6	75	0,4	0,88	180,0	158,4						
2.	Авт. линия смеси	6	55	0,4	0,88	132,0	116,2						
3.	Автоматич. линия розлива металла	6	110	0,27	1,17	178,2	208,3						
4.	Индукционная печь	6	100	0,7	0,75	420,0	315,0						
5.	Транспортеры	12	75	0,4	1,17	360,0	420,8						
6.	Нас.оборудование	21	15	0,7	0,75	220,5	165,4						
7.	Нас.оборудование	7	55	0,7	0,75	269,5	202,1						
8.	Вентиляторы	25	22	0,65	0,75	357,5	268,1						
9.	Мостовой кран ПВ-40%	6	31	0,1	1,73	18,6	32,2						
	Итого по цеху:					2136,3	1886,6	64,7	0,49	1,2	2484,9	1886,6	3119,9
4) Литейный цех №2													
1.	Авт. линия формовки	6	70	0,4	0,88	168,0	147,8						
2.	Авт. линия смеси	6	45	0,4	0,88	108,0	95,0						
3.	Индукционная печь U=0,4кВ f=50Гц	6	150	0,7	0,62	630,0	390,6						
4.	Вентиляторы	15	30	0,65	0,75	292,5	219,4						
5.	ПТМ	4	25	0,1	1,73	10,0	17,3						
6.	Транспортеры	3	37	0,4	0,88	44,4	39,1						
7.	Нас.оборудование	10	15	0,7	0,62	105,0	65,1						
	Итого по цеху:					1357,9	974,3	29,0	0,57	1,2	1631,2	974,3	1900,1
5) Механосборочный цех													
1.	Токарные станки	21	22	0,17	1,73	115,9	200,8						
2.	Станок сверлильный	10	18,5	0,17	1,73	31,5	54,5						
3.	Фрезерные станки	10	30	0,17	1,73	51,0	88,3						
4.	Вентиляторы	15	11	0,65	0,75	107,3	80,4						
5.	Насосы системы охлаждения	15	7,5	0,65	0,75	73,1	54,8						
6.	Автоматические линии обработки	8	110	0,55	0,88	544,5	479,2						
7.	ПТМ	6	15	0,1	1,73	9,0	15,6						
8.	Автоматы шлифовально-полировочные	18	22	0,25	1,17	99,0	115,7						
9.	Машины точечной сварки	4	65	0,2	1,33	52,0	69,3						
	Итого по цеху:					1083,3	1158,7	61,0	0,34	1,2	1345,2	1158,7	1775,4

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6) Инструментальный цех													
1.	Токарные станки	18	20	0,17	1,73	61,2	106,0						
2.	Станок шлифовальный	18	18	0,17	1,73	55,1	95,4						
3.	Станок сверлильный	18	11	0,17	1,73	33,7	58,3						
4.	Многошпиндельные автоматы	15	15	0,15	1,33	33,8	45,0						
5.	Полуавтоматы для холодной штамповки	15	20	0,17	1,17	51,0	59,6						
6.	Фрезерные станки	18	20	0,17	1,73	61,2	106,0						
7.	Вентиляторы	30	20	0,65	0,75	390,0	292,5						
8.	Насосы	10	15	0,7	0,62	105,0	65,1						
9.	Электропечь сопротивления	4	150	0,8	0,32	480,0	153,6						
	Итого по цеху:					1270,9	981,5	71,4	0,41	1,2	1511,2	981,5	1801,9
	7) Термический цех												
1.	Электропечь сопротивления	6	60	0,8	0,32	288,0	92,2						
2.	Эл.печи сопротивления	6	90	0,7	0,32	378,0	121,0						
3.	Индукционная печь	3	75	0,7	2,67	157,5	420,5						
4.	Вентиляторы	20	20	0,65	0,75	260,0	195,0						
5.	Транспортер	3	40	0,4	0,88	48,0	42,2						
6.	Автоматич.линии термообработки	3	60	0,65	0,48	117,0	56,2						
7.	Краны	3	31	0,3	1,73	27,9	48,3						
8.	Насосы систем охлаждения	10	22	0,7	0,62	154,0	95,5						
	Итого по цеху:					1430,4	1070,8	38,6	0,67	1,1	1609,0	1070,8	1932,8
8) Сварочный цех													
1.	Краны	3	25	0,3	1,73	22,5	39,0						
2.	Транспортер	4	45	0,4	0,88	72,0	63,4						
3.	Автоматические линии мех. обработки	4	90	0,55	0,88	198,0	174,2						
4.	Вентиляторы	20	15	0,65	0,75	195,0	146,3						
5.	Установки плазменной сварки и резки	7	70	0,4	1,33	196,0	261,3						
6.	Сварочные трансформаторы	10	50	0,35	1,73	175,0	303,1						
7.	Сварочные машины шовные	10	35	0,3	1,02	105,0	107,1						

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
8.	Сварочные машины	10	25	0,25	1,33	62,5	83,3						
9.	Ножницы листовые	10	21	0,12	1,73	25,2	43,6						
10.	Переносной электроинструмент	50	1	0,06	1,73	3,0	5,2						
	Итого по цеху:					1054,2	1226,4	59,2	0,38	1,2	1288,0	1226,4	1778,5
	9) Котельная												
1.	Автоматика котлов	3	9	0,7	0,62	18,9	11,7						
2.	Сетевые насосы	3	45	0,7	0,62	94,5	58,6						
3.	ГВС	3	20	0,7	0,62	42,0	26,0						
4.	ХВС	3	20	0,7	0,62	42,0	26,0						
5.	Насосы ХВП	3	15	0,7	0,62	31,5	19,5						
6.	Линия рециркуляции	3	15	0,7	0,62	31,5	19,5						
7.	Насосы подпитки	3	20	0,7	0,62	42,0	26,0						
8.	Насосы котлов	3	20	0,7	0,62	42,0	26,0						
9.	Вентиляторы дымососов	6	15	0,6	0,75	54,0	40,5						
	Итого по цеху:					398,4	254,0	24,5	0,68	1,1	457,6	254,0	523,4
10) Компрессорная													
1.	Компрессор 1	4	28	0,7	0,62	78,4	48,6						
2.	Компрессор 2	3	60	0,75	0,46	135,0	62,1						
	Итого по цеху:					213,4	110,7	6,1	0,73	1,3	268,0	121,8	294,3
	11) Склад заготовок												
1.	Кран козловой ПВ-40%	2	30	0,1	1,73	6,0	10,4						
2.	Транспортеры	2	40	0,4	0,88	32,0	28,2						
3.	Офисная техника	5	2	0,35	0,48	3,5	1,7						
	Итого по цеху:					41,5	40,2	4,5	0,28	2,2	90,8	44,3	101,0
	12) Склад готовой продукции												
1.	Кран козловой ПВ-40%	2	4	0,1	1,73	0,8	1,4						
2.	Транспортеры	2	21	0,4	0,88	16,8	14,8						
3.	Офисная техника	15	2	0,35	0,48	10,5	5,0						
	Итого по цеху:					28,1	21,2	6,6	0,35	1,8	49,8	23,3	55,0
13) Административный корпус													
1.	Офисная техника	100	2	0,35	0,48	70,0	33,6						

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2.	Система конд.	40	6	0,65	0,75	156,0	117,0						
3.	Бытовые нагревательные приборы	40	2	0,4	0,32	32,0	10,2						
4.	Тепловые завесы	4	5	0,55	0,75	11,0	8,3						
	Итого по цеху:					269,0	169,1	138,9	0,50	1,1	298,1	169,1	342,7
14) Сборочный цех №1													
1.	Краны	3	31	0,3	1,73	27,9	48,3						
2.	Транспортер	3	25	0,4	0,88	30,0	26,4						
3.	Автоматич.линии мех. обработки	3	80	0,55	0,88	132,0	116,2						
4.	Вентиляторы	10	11	0,65	0,75	71,5	53,6						
5.	Переносной эл.инструмент	40	1	0,06	1,73	2,4	4,2						
	Итого по цеху:					263,8	248,7	12,4	0,47	1,4	369,8	248,7	445,6
15) Цех лакокрасочных покрытий													
1.	Оборудование автоматических линий	10	16	0,5	0,75	80,0	60,0						
2.	Конвейер	3	80	0,4	0,88	96,0	84,5						
3.	ПТМ	8	20	0,1	1,73	16,0	27,7						
4.	Насосное оборудование	2	26	0,7	0,62	36,4	22,6						
5.	Камера окраски	10	8	0,55	1,02	44,0	44,9						
6.	Оборудование краскоприготовления	10	6	0,25	1,17	15,0	17,5						
7.	Линия лакокрасочных покрытий	5	30	0,6	0,75	90,0	67,5						
8.	Камеры охлаждения	20	11	0,55	1,02	121,0	123,4						
9.	Вентиляторы	15	22	0,65	0,75	214,5	160,9						
	Итого по цеху:					712,9	609,0	50,8	0,49	1,2	843,6	609,0	1040,4
16) Сборочный цех №2													
1.	Краны	3	31	0,3	1,73	27,9	48,3						
2.	Транспортер	3	25	0,4	0,88	30,0	26,4						
3.	Автоматич.линии мех. обработки	3	80	0,55	0,88	132,0	116,2						
4.	Вентиляторы	10	11	0,65	0,75	71,5	53,6						
5.	Переносной эл.инструмент	40	1	0,06	1,73	2,4	4,2						
	Итого по цеху:					263,8	248,7	12,4	0,47	1,4	369,8	248,7	445,6

1.3 Расчёт электрических нагрузок на стороне 10кВ

Активная нагрузка потребителей напряжением 10 кВ определяется методом коэффициента спроса по выражению:

$$P_{р.вп\,i} = k_{с\,i} \cdot P_{ном.вп\,i}, \quad (1.12)$$

где $k_{с\,i}$ – коэффициент спроса высоковольтных потребителей;

$P_{ном.вп\,i}$ – номинальная активная мощность высоковольтных потребителей.

Реактивная нагрузка потребителей напряжением 10 кВ определяется по выражению:

$$Q_{р\,вп\,i} = P_{р\,вп\,i} \cdot tg\varphi_i, \quad (1.13)$$

где $tg\varphi_i$ – коэффициент реактивной мощности высоковольтных потребителей.

В качестве высоковольтных электрических двигателей будем применять синхронные электродвигатели, поскольку они имеют ряд преимуществ по сравнению с асинхронными электродвигателями:

- меньшее влияние падания напряжения в сети на вращающий момент, что весьма желательно с точки зрения улучшения устойчивости энергосистем;
- возможность естественной компенсации реактивной мощности, что приводит к снижению потерь активной энергии в электрических сетях предприятия и в конечном итоге – сокращению затрат на покупку электроэнергии;
- более высокий КПД;
- наличие большего воздушного зазора (примерно в 2–4 раза), что повышает надежность эксплуатации.

При выборе типа синхронного двигателя учитываем его предназначение, а также то, что при одинаковой мощности электродвигатели с большим числом оборотов имеют меньшие массу, габаритные размеры и стоимость, а так же более высокие значения кпд и коэффициента мощности.

В качестве приводов компрессоров выбираем синхронные двигатели типа СТД. Параметры двигателя:

- номинальная активная мощность: $P_{ном1}$ =400 кВт; $P_{ном2}$ =630 кВт;
- номинальная полная мощность: $S_{ном1}$ =471 кВА; $S_{ном2}$ =741 кВА;
- номинальное напряжение: $U_{ном}$ =10 кВ;
- номинальная частота вращения: 3000 об/мин;
- номинальный кпд: η= 95,8%;
- номинальный коэффициент мощности: cosφ=0,85;
- пусковая характеристика $I_{п} / I_{ном}$ =5,66.

Таблица 1.5 – Расчёт электрических нагрузок 10кВ

Наименование цехов и групп электроприёмников	$P_н$, кВт ($S_н$, кВА)	$K_с$	cosφ	tgφ	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
Литейный цех №1							
1. Индукционные печи ИАТ-10/0,2 С3	(2×200)	0,7	0,8	0,75	224	168	
2. Дуговые печи ДСП(Т)-1,25-М	(2×1250)	0,6	0,85	0,62	1275	790,5	
Итого по цеху:	(2900)				1499	958,5	1779,2
Литейный цех №2							
1. Индукционные печи ИАТ-10/0,4 С3	(4×400)	0,7	0,8	0,75	896	672	
Итого по цеху:	(1600)				896	672	1120
Компрессорная							
1. Компрессоры СТД-630	2×630	0,7	0,85	0,62	882	546,8	
2. Компрессоры СТД-400	4×400	0,7	0,85	0,62	1120	694,4	
Итого по цеху:	2860				2002	1241,2	2355,6
Всего:	-	-	-	-	4397	2871,7	5251,7

1.4 Расчёт потерь мощности в цеховых трансформаторах

Для расчета потерь в трансформаторах используем их паспортные данные.

1) Потери активной мощности в трансформаторах $\Delta P_т$, кВт:

$$\Delta P_T = n \cdot (\Delta P_{х.х} + k^2_{з.ф} \cdot \Delta P_{к.з}), \quad (1.14)$$

где $\Delta P_{х.х.}$ – потери холостого хода трансформатора, кВт;

$\Delta P_{к.з.}$ – потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

n – количество трансформаторов на подстанции, шт.;

$K_{з.ф.}$ – фактический коэффициент загрузки трансформатора (таблица 3.4), о.е.

Для ТП-7:

$$\Delta P_T = 2 \cdot (1{,}55 + 0{,}73^2 \cdot 10{,}8) = 14{,}5 \text{ кВт.}$$

2) Потери реактивной мощности в трансформаторах $\Delta Q_т$, кВар:

$$\Delta Q_T = n \cdot \left(\frac{i_0 + k_{з.ф}^2 \cdot u_к}{100} \cdot S_{т.ном} \right), \quad (1.15)$$

где $i_о$ – ток холостого хода трансформатора, %;

$u_к$. – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Для ТП-7:

$$\Delta Q_T = 2 \cdot \left(\frac{1{,}2 + 0{,}73^2 \cdot 5{,}5}{100} \cdot 1000 \right) = 82{,}1 \text{ кВар.}$$

Результаты расчёта потерь мощности в цеховых трансформаторах для остальных групп цехов сводим в таблицу 1.6.

Таблица 1.6 – Результаты расчёта потерь мощности в цеховых трансформаторах

П/ст	Тип тр-ра	$S_{т.ном}$, кВА	$\Delta P_{х.х}$, кВт	$\Delta P_{к.з}$, кВт	$u_к$, %	i_0, %	$K_{з.ф}$	n, шт.	$\Delta P_т$, кВт	$\Delta Q_т$, кВар
ТП-1	ТМЗ-1000/10	1000	1,55	10,8	5,5	1,2	0,84	2	18,5	102,3
ТП-2	ТМЗ-1000/10	1000	1,55	10,8	5,5	1,2	0,83	2	18,2	100,5
ТП-3	ТМЗ-1600/10	1600	1,95	16,5	6	1,0	0,82	2	25,9	160,0
ТП-4	ТМЗ-1600/10	1600	1,95	16,5	6	1,0	0,80	2	25,0	154,3
ТП-5	ТМЗ-1600/10	1600	1,95	16,5	6	1,0	0,62	2	16,6	105,5
ТП-6	ТМЗ-1600/10	1600	1,95	16,5	6	1,0	0,63	2	16,9	107,6
ТП-7	ТМЗ-1000/10	1000	1,55	10,8	5,5	1,2	0,73	2	14,5	82,1
ТП-8	ТМЗ-1600/10	1600	1,95	16,5	6	1,0	0,51	2	12,5	81,7
Итого:									148,1	894,0

1.5 Результаты расчёта электрических нагрузок 10кВ

Для определения расчетных нагрузок на стороне 10кВ к расчетным нагрузкам на стороне 0,4кВ добавляются мощность высоковольтных потребителей, потери мощности в цеховых трансформаторах и потери мощности в низковольтных конденсаторных установках.

Активная расчетная нагрузка на стороне ВН $P_р$, кВт:

$$P_p = k_{р.м} \cdot (P_{р.0,4\Sigma} + P_{р.10\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma} + \Delta P_{ку}), \quad (1.16)$$

где $P_{р.0,4\Sigma}$ – суммарная активная расчетная нагрузка низковольтных потребителей, кВт;

$P_{р.10\Sigma}$ – суммарная активная расчетная нагрузка высоковольтных потребителей, кВт;

$\Delta P_{т\Sigma}$ – суммарные потери активной мощности в цеховых трансформаторах, кВт;

$\Delta P_{ку}$ – потери активной мощности в конденсаторных установках, кВт;

$k_{р,м}$ - коэффициент разновременности максимумов нагрузки ($\kappa_{р,м} = 0,9$).

$$P_p = 0,9 \cdot (14910,2 + 4397,0 + 148,1 + 20,1) = 17527,9 \text{ кВт.}$$

Реактивная расчетная нагрузка на стороне ВН $Q_р$, кВАр:

$$Q_p = Q_{p.0,4\Sigma} + Q_{p.10\Sigma} + \Delta Q_{m\Sigma}, \quad (1.17)$$

где $Q_{р.0,4\Sigma}$ – суммарная реактивная расчетная нагрузка низковольтных потребителей, кВар;

$Q_{р.10\Sigma}$ – суммарная реактивная расчетная нагрузка высоковольтных потребителей, кВар;

$\Delta Q_{т\Sigma}$ – суммарные потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах, кВт.

$$Q_p = 4620,0 + 2871,7 + 894,0 = 8385,7 \text{ кВАр.}$$

Полная расчетная нагрузка на шинах 10 кВ ГПП $S_р$, кВА:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (1.18)$$

$$S_p = \sqrt{17527,9^2 + 8385,7^2} = 19430,6 \text{ кВА.}$$

1.6 Расчёт компенсации реактивной мощности на стороне 10кВ

Основными типами компенсирующих устройств в сети 10 кВ предприятия являются конденсаторные установки и синхронные электродвигатели (СД).

На предприятии СД установлены по условиям технологии. Однако их мощность менее 1000кВт, поэтому для КРМ они не используются.

Проверим, достаточно ли мощности низковольтных компенсирующих устройств для доведения $tg\varphi_{п}$ предприятия до экономического значения $tg\varphi_{э}$ =0,4.

$P_{р}$=17527,9 кВт; $Q_{р}$=8385,7 квар.

$$tg\varphi_{п} = \frac{Q_{р}}{P_{р}} = \frac{8385,7}{17527,9} = 0,48 > tg\varphi_{э} = 0,4 \text{ о.е.}$$

Поскольку реактивной мощности низковольных конденсаторных установок не достаточно для доведения $tg\varphi_{п}$ до $tg\varphi_{э}$, которое задается энергосистемой в период ее максимума нагрузки, в сети 10 кВ дополнительно устанавливаем высоковольтные конденсаторные батареи.

Необходимая мощность высоковольтных конденсаторных батарей $Q_{к.у.10}$, кВар определяется по формуле:

$$Q_{к.у.10} = P_{р} \cdot (tg\varphi_{п} - tg\varphi_{э}); \quad (1.19)$$

$$Q_{к.у.10} = 17527,9 \cdot (0,48 - 0,4) = 1402,2 \text{ кВар.}$$

В качестве источников реактивной мощности используем две высоковольтные конденсаторные установки (по одной на каждую секцию 10кВ) типа УКМ-10,5-900 ($U_{ном}$=10кВ, $Q_{ном}$=900 кВАр), т.е. суммарная компенсирующая мощность конденсаторных установок $Q_{Σк.у.10}$=2·900=1800 кВАр.

Уточняем расчетную нагрузку на шинах 10 кВ ГПП с учётом высоковольтных конденсаторных установок $S_{р}$, кВА:

$$S`_{р} = \sqrt{P_{р}^2 + (Q_{р} - Q_{Σ ку.10})^2}; \quad (1.20)$$

$$S`_{р} = \sqrt{17527,9^2 + (8385,7 - 1800)^2} = 18724,3 \text{ кВА.}$$

2. Выбор электротехнического оборудования подстанции

2.1 Выбор трансформаторов ГПП

На предприятии преобладают потребители II категории, но также имеются потребители I категории, поэтому ГПП предприятия выполняется двухтрансформаторной. Номинальная нагрузка каждого трансформатора двухтрансформаторной подстанции, как правило, определяется аварийным режимом работы подстанции: при установке двух трансформаторов их мощность выбирается такой, чтобы при выходе из работы одного из них, оставшийся в работе трансформатор с допустимой аварийной перегрузкой мог обеспечить нормальное электроснабжение потребителей.

При аварийных режимах допускается перегрузка трансформаторов на 40% на время максимума, общей суточной продолжительностью не более 6 ч в течение не более 5 суток. На время перегрузки должны быть приняты меры по усилению охлаждения трансформатора (включены вентиляторы дутья, резервные охладители и т.д.).

Выбор номинальной мощности трансформатора производится с учетом его перегрузочной способности:

$$S_{т.ном} \geq S_{т.расч}, \quad (2.1)$$

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

$S_{т.расч}$ - расчетная мощность трансформатора, кВА.

$$S_{т.расч} = \frac{S_p}{k_з \cdot n_т}, \quad (2.2)$$

где k_3 - коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме (принимаем k_3=0,7).

$$S_{т.расч} = \frac{18724,3}{0,7 \cdot 2} = 13374,5 \text{ кВА}.$$

Из ряда стандартных мощностей понижающих трансформаторов выбираем ближайшую большую номинальную мощность $S_{т.ном}$=16МВА.

Коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме работы (в работе оба трансформатора):

$$k_{з.н} = \frac{S_p}{n_m \cdot S_{т.ном}}; \quad (2.3)$$

$$k_{з.н} = \frac{18724,3}{2 \cdot 16000} = 0,59.$$

Коэффициент загрузки трансформатора в аварийном режиме (в работе один трансформатор):

$$k_{з.а} = \frac{S_p}{S_{т.ном}}; \quad (2.4)$$

$$k_{з.а} = \frac{18724,3}{16000} = 1,17 < 1,4.$$

Выбираем трансформаторы ТДН-16000/110 – трансформатор трехфазный с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла, с устройством регулирования напряжения под нагрузкой (РПН).

Таблица 2.1 – Паспортные данные трансформатора ГПП

Тип	$S_{т.ном}$, МВА	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение короткого замыкания, %	Ток холостого хода, %
		ВН	НН	$P_{КЗ}$	$P_{ХХ}$		
ТДН-16000/110	16	115	11	85	26	10,5	0,85

2.2 Выбор схемы электроснабжения предприятия

Система электроснабжения предприятия состоит из источников питания, линий электропередач, осуществляющих подачу электроэнергии к предприятию, понизительных, распределительных и преобразовательных подстанций и связывающих их кабелей и воздушных линий.

Требования, предъявляемые к электроснабжению предприятий, в основном зависят от потребляемой ими мощности, характера электрических нагрузок, особенностей производства, климатических условий и других факторов. Схема электроснабжения должна удовлетворять следующим требованиям: надежность, экономичность, удобство и безопасность эксплуатации, а также обеспечение необходимого качества электроэнергии у приемников и возможность дальнейшего развития сети.

Надежность сети определяется категорией потребителей. Экономичность сети характеризуется стоимостными показателями (приведенными затратами). Кроме того, необходимо учитывать такие требования, как характер размещения нагрузок по территории предприятия, а также его потребляемую мощность.

Завод производственного оборудования относится к предприятиям средней установленной мощности (то есть мощность предприятия находится в пределах от 5 до 75 МВт). В связи с этим принимаем схему электроснабжения с одним приемным пунктом электроэнергии (ГПП). Ввиду наличия потребителей I-ой категории по степени бесперебойности питания предусматриваем секционирование шин приемного пункта и питание каждой секции по отдельной линии.

При построении схемы электроснабжения исходим из принципа максимально возможного приближения высшего напряжения к электроустановкам потребителей и применения минимального количества ступеней промежуточной трансформации.

Резервирование питания для отдельных категорий потребителей заложено в самой схеме электроснабжения. Для этого все элементы схемы (линии, трансформаторы, аппаратура) несут в нормальном режиме постоянную нагрузку, а в послеаварийном режиме (после отключения поврежденных участков) принимают на себя питание оставшихся в работе потребителей с учетом допустимых для этих элементов нагрузок.

При секционировании всех звеньев системы электроснабжения, начиная от шин ГПП, предусмотрена установка на них системы АВР (автоматического ввода резерва) для повышения надежности питания. При этом в нормальном режиме работы обеспечивается раздельная работа элементов системы электроснабжения, что снижает уровень токов короткого замыкания, облегчает и удешевляет коммутационную аппаратуру и упрощает релейную защиту.

Мощность трансформаторов ГПП составляет 16 МВА. По способу присоединения понизительной подстанции к питающей линии она является тупиковой. Поэтому РУ-110кВ ГПП выполняется по схеме «два блока линия-трансформатор с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны ЛЭП». Эта схема более надежна в эксплуатации, чем схема с отделителями и короткозамыкателями, особенно в зимнее время. Перемычка позволяет сохранить в работе оба трансформатора при повреждении одной из питающих линий, а также обеспечить питание ГПП на время ревизии или ремонта силового трансформатора.

Схема РУ-110кВ ГПП представлена на рисунке 2.1.

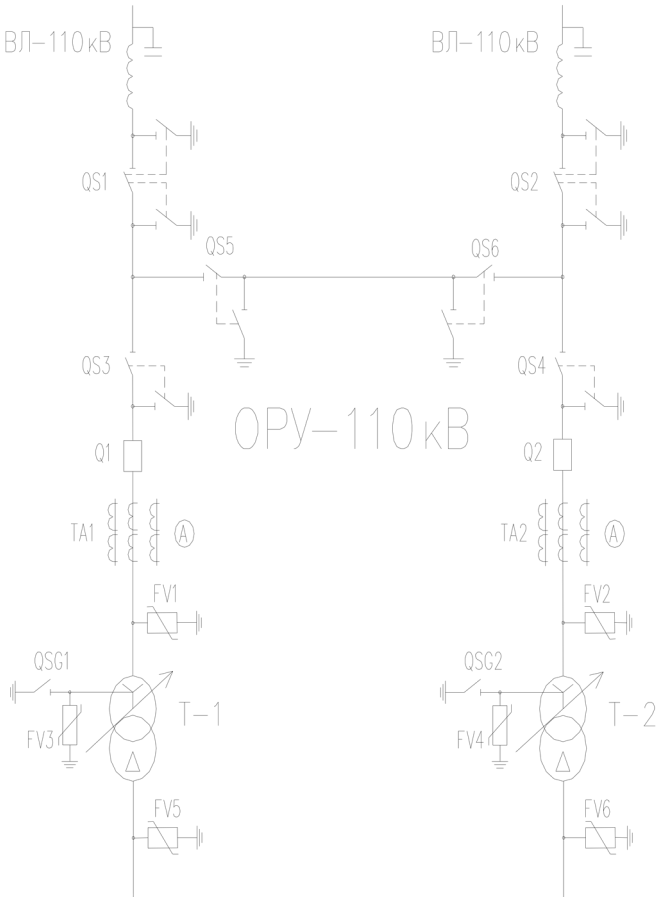

Рисунок 2.1 **-** Схема ОРУ-110 кВ ГПП

На стороне 10кВ ГПП применяем схему: «одна рабочая секционированная выключателем система шин». Она наиболее проста, но в то же время обеспечивает бесперебойное питание потребителей при исчезновении напряжения на одном из трансформаторов от другого через секционный выключатель. Для питания потребителей предприятия используем радиальную схему. Нагрузку 0,4кВ производственных цехов запитываем от трансформаторных подстанций (ТП). ТП, высоковольтные СД и электрические печи запитываются непосредственно от РУ-10кВ ГПП.

2.3 Расчет токов короткого замыкания

В электрических установках могут возникать различные виды коротких замыканий, сопровождающиеся резким увеличением тока. Все электрооборудование, устанавливаемое в системах электроснабжения,

должно быть устойчивым к токам КЗ и выбираться с учетом величины этих токов.

Основными причинами возникновения коротких замыканий в сети могут быть:

- повреждение изоляции отдельных частей электроустановок;
- неправильные действия обслуживающего персонала;
- перекрытия токоведущих частей установки.

Короткие замыкания в сети могут сопровождаться:

- прекращением питания потребителей, присоединенных к местам КЗ;
- нарушением нормальной работы других потребителей (подключенных к неповрежденным участкам сети), вследствие понижения напряжения на этих участках;
- нарушением нормальной работы энергетической системы.

Для предотвращения коротких замыканий и уменьшения их последствий необходимо:

- устранить причины, вызывающие короткие замыкания;
- уменьшить время действия защиты, действующей при коротких замыканиях;
- применять быстродействующие выключатели;
- правильно вычислить величину токов коротких замыканий и по ним выбрать соответствующую аппаратуру.

Расчетным видом КЗ для выбора электрооборудования является трехфазное КЗ. Расчет токов КЗ ведем с учетом действительных характеристик и действительных режимов работы.

При выполнении расчета токов КЗ не учитываем:

- сдвиг по фазе ЭДС и изменение частоты вращения роторов синхронных машин;
- ток намагничивания систем генераторов, трансформаторов и электродвигателей;

- насыщение магнитных систем генераторов, трансформаторов и электродвигателей;
- емкостную проводимость ВЛ и КЛ;
- различие значений сверхпереходных сопротивлений по продольной и поперечной осям синхронных машин;
- возможную несимметрию трехфазной системы;
- влияние недвигательной нагрузки на токи КЗ;
- подпитку места КЗ со стороны электродвигателей напряжением до 1000 В при расчете токов КЗ в сети выше 1000 В.

Принятые допущения дают возможность произвести расчет с точностью, не выходящей за допустимые 10 %. Кроме того, в сетях напряжением выше 1000 В не учитываются активные сопротивления элементов. Весь расчет производим в относительных единицах с использованием шкалы средних напряжений.

Расчётная схема для расчёта токов КЗ приведена на рисунке 2.2.

Схема замещения для расчета трехфазных КЗ представлена на рисунке 2.3.

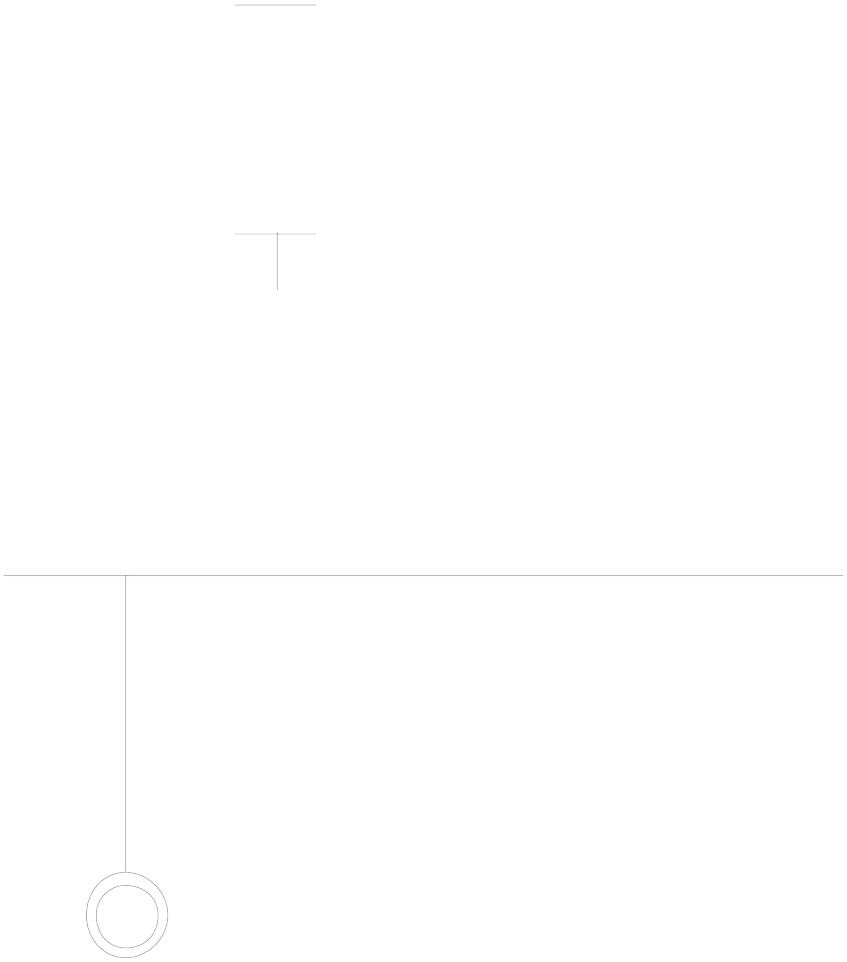

Рисунок 2.2 – Расчетная схема для расчёта токов КЗ.

Рисунок 2.3 – Расчетная схема замещения.

Т.к. в расчете токов КЗ принимаем источник бесконечной мощности, то Э.Д.С. системы принимаем равной единице. Предварительно принимаем базисную мощность $S_б$=$S_к$=2000МВА. За базисное напряжение принимаем среднее эксплуатационное напряжение той ступени, на которой предполагается КЗ:

$U_{б1}$=115кВ – напряжение ВН трансформатора;

$U_{б2}$=10,5кВ – напряжение НН трансформатора.

Таким образом, для каждой точки К.З. будет свой базисный ток $I_б$, кА:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б}; \quad (2.5)$$

$$I_{б1} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 10{,}04 \text{ кА};$$

$$I_{б2} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 10{,}5} = 109{,}9 \text{ кА}.$$

Находим сопротивления элементов схемы замещения.

Сопротивление системы в относительных единицах:

$$x_c = \frac{S_б}{S_к}; \quad (2.6)$$

$$x_c = \frac{2000}{2000} = 1{,}0 \text{ о.е.}$$

Сопротивление ВЛ в относительных единицах:

$$x_л = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_б}{U_{ср}^2}, \quad (2.7)$$

где L – длина линии, км;

x_0 – удельное сопротивление линии, Ом/км.

$$x_л = 0{,}4 \cdot 15 \cdot \frac{2000}{115^2} = 0{,}91 \text{ о.е.}$$

Сопротивление трансформатора в относительных единицах:

$$x_т = \frac{u_k \cdot S_б}{100 \cdot S_{т.ном}}, \quad (2.8)$$

где u_k – напряжение короткого замыкания трансформатора;

$S_{т.ном}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА.

$$x_т = \frac{10{,}5 \cdot 2000}{100 \cdot 16} = 13{,}1 \text{ о.е.}$$

Сопротивление кабельной линии от ГПП до СД в относительных единицах:

$$x_{клСД1} = 0{,}08 \cdot 0{,}45 \cdot \frac{2000}{10{,}5^2} = 0{,}65 \text{ о.е.}$$

$$x_{клСД2} = 0{,}08 \cdot 0{,}43 \cdot \frac{2000}{10{,}5^2} = 0{,}62 \text{ о.е.}$$

Сопротивление кабельной линии от ГПП до ТП-6 в относительных единицах:

$$x_{клТП} = 0{,}08 \cdot 0{,}50 \cdot \frac{2000}{10{,}5^2} = 0{,}73 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ определяем по формуле, кА:

$$I_{по i} = \frac{E_{\Sigma i}}{x_{\Sigma i}} \cdot I_{б i}, \quad (2.9)$$

где $x_{\Sigma i}$ – суммарное сопротивление до точки КЗ, о.е. ;

$E_{\Sigma i}$ – суммарная ЭДС источников питания, о.е.

Для точки К1:

$$x_{\Sigma 1} = x_c + x_л; \quad (2.10)$$

$$x_{\Sigma 1} = 1{,}0 + 0{,}91 = 1{,}91 \text{ о.е. ;}$$

$$I_{по1} = \frac{1{,}0}{1{,}91} \cdot 10{,}04 = 5{,}26 \text{ кА.}$$

Для точки К2:

$$x_{\Sigma 2} = x_{\Sigma 1} + x_m; \quad (2.11)$$

$$x_{\Sigma 2} = 1{,}91 + 13{,}1 = 15{,}01 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ для точки К2 без учета подпитки от электродвигателей, кА:

$$I`_{по2} = \frac{1{,}0}{15{,}01} \cdot 109{,}9 = 7{,}32 \text{ кА.}$$

Определяем ток подпитки точки К2 от синхронных двигателей:

$$I_{под.2} = \frac{E_{под.2}}{x_{под.2}} \cdot I_{б2}, \quad (2.12)$$

где $x_{под.2}$ - сопротивление подпитки для точки К2.

$$x_{под.2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{x_{кл i} + x``_{di}}}; \quad (2.13)$$

где $x"_d$ - сверхпереходное сопротивление СД, о.е. (принимаем $\underline{x}"_d$=0,15 о.е.) и приводим его к базисным условиям:

$$x``_d = \underline{x}``_d \cdot \frac{S_б}{S_{ном}}, \quad (2.14)$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность СД.

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{cos\varphi}, \quad (2.15)$$

где $P_{ном}$ - номинальная активная мощность СД, кВт;

cosφ - коэффициент мощности, cosφ=0,85 (таблица 4.1).

$$S_{ном1} = \frac{630}{0,85} = 741 \text{ кВА}; \; S_{ном2} = \frac{400}{0,85} = 471 \text{ кВА};$$

$$x_{d1}^{``} = 0,15 \cdot \frac{2000}{0,741} = 404,9 \text{ о.е.}; \; x_{d2}^{``} = 0,15 \cdot \frac{2000}{0,471} = 636,9 \text{ о.е.};$$

$$x_{под.2} = \frac{1}{\frac{2}{0,65 + 404,9} + \frac{4}{0,62 + 636,9}} = 89,2 \text{ о.е.},$$

где $E_{под.2}$ – ЭДС подпитки всех СД, о.е. Т.к. ЭДС всех СД одинаковы, то $E_{под.2}=E_d$ (принимаем E_d=1,07 о.е.).

$$I_{под.2} = \frac{1,07}{89,2} \cdot 109,9 = 1,32 \text{ кА}.$$

Итоговое значение тока КЗ с учётом тока подпитки, кА:

$$I_{по2} = I_{по2}^{`} + I_{под.2}; \quad (2.16)$$

$$I_{по2} = 7,32 + 1,32 = 8,64 \text{ кА}.$$

Для точки КЗ:

$$x_{\Sigma 3} = x_{\Sigma 2} + x_{клСД}; \quad (2.17)$$

$$x_{\Sigma 3} = 15,01 + 0,65 = 15,66 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ для точки КЗ без учета подпитки от электродвигателей, кА:

$$I_{по3}^{`} = \frac{1,0}{15,66} \cdot 109,9 = 7,02 \text{ кА}.$$

Определяем ток подпитки точки КЗ от синхронных двигателей:

$$I_{под.3} = \frac{E_{под.3}}{x_{под.3}} \cdot I_{б2}, \quad (2.18)$$

где $x_{под.3}$ - сопротивление подпитки для точки КЗ.

$$x_{под.3} = \frac{x_{d}^{``} \cdot (x_1 + x_{клСД1})}{x_{d}^{``} + (x_1 + x_{клСД1})}; \quad (2.19)$$

$$x_1 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{x_{кл i} + x_{di}^{``}}}; \quad (2.20)$$

$$x_1 = \frac{1}{\frac{1}{0,65+404,9} + \frac{4}{0,62+636,9}} = 114,4 \text{ о.е.;}$$

$$x_{под.3} = \frac{404,9 \cdot (114,4+0,65)}{404,9+(114,4+0,65)} = 89,6 \text{ о.е.;}$$

$$I_{под.3} = \frac{1,07}{89,6} \cdot 109,9 = 1,31 \text{ кА.}$$

Итоговое значение тока КЗ с учётом тока подпитки, кА:

$$I_{по3} = I`_{по3} + I_{под.3}; \quad (2.21)$$

$$I_{по3} = 7,02 + 1,31 = 8,33 \text{ кА.}$$

Для точки К4:

$$x_{\Sigma 4} = x_{\Sigma 2} + x_{клТП}; \quad (2.22)$$

$$x_{\Sigma 4} = 15,01 + 0,73 = 15,74 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ для точки КЗ без учета подпитки от электродвигателей, кА:

$$I`_{по4} = \frac{1,0}{15,74} \cdot 109,9 = 6,98 \text{ кА.}$$

Определяем ток подпитки точки К4 от синхронных двигателей:

$$I_{под.4} = \frac{E_{под.4}}{x_{под.4}} \cdot I_{б2}, \quad (2.23)$$

где $x_{под.4}$ - сопротивление подпитки для точки К4.

$$x_{под.4} = x_{клТП3} + x_{под.2}; \quad (2.24)$$

$$x_{под.4} = 0,73 + 89,2 = 89,93 \text{ о.е. ;}$$

$$I_{под.4} = \frac{1,07}{89,93} \cdot 109,9 = 1,31 \text{ кА.}$$

Итоговое значение тока КЗ с учётом тока подпитки, кА:

$$I_{по4} = I`_{по4} + I_{под.4}; \quad (2.25)$$

$$I_{по4} = 6,98 + 1,31 = 8,29 \text{ кА.}$$

Определяем ударный ток для точек КЗ i_y, кА:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot к_y, \quad (2.26)$$

где $k_У$ – ударный коэффициент, о.е..

- для точки К1:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 5{,}26 \cdot 1{,}8 = 13{,}4 \text{ кА};$$

- для точки К2:

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 8{,}64 \cdot 1{,}92 = 23{,}5 \text{ кА};$$

- для точки К3:

$$i_{y3} = \sqrt{2} \cdot 8{,}33 \cdot 1{,}8 = 21{,}2 \text{ кА};$$

- для точки К4:

$$i_{y4} = \sqrt{2} \cdot 8{,}29 \cdot 1{,}7 = 19{,}9 \text{ кА}.$$

Действующее значение апериодической составляющей тока К3 в момент начала расхождения дугогасительных контактов выключателей $i_{a,t}$, кА:

$$i_{a,t} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot e^{\frac{-t}{T_a}}, \qquad (2.27)$$

где T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока К3;

t – усредненное значение собственного времени отключения выключателя.

- для точки К1:

$$i_{a,t1} = \sqrt{2} \cdot 5{,}26 \cdot e^{\frac{-0{,}01}{0{,}05}} = 6{,}1 \text{ кА};$$

- для точки К2:

$$i_{a,t2} = \sqrt{2} \cdot 8{,}56 \cdot e^{\frac{-0{,}01}{0{,}12}} = 11{,}1 \text{ кА};$$

- для точки К3:

$$i_{a,t3} = \sqrt{2} \cdot 8{,}33 \cdot e^{\frac{-0{,}01}{0{,}05}} = 9{,}6 \text{ кА};$$

- для точки К4:

$$i_{a,t4} = \sqrt{2} \cdot 8{,}29 \cdot e^{\frac{-0{,}01}{0{,}03}} = 8{,}4 \text{ кА}.$$

Определяем тепловой импульс тока B_K, кА^2·с:

$$B_k = I_{по}^2 \cdot (t_{отк} + T_a), \qquad (2.28)$$

где $t_{отк}$ – полное время отключения тока К3.

- для точки К1:

$$B_{k1} = 5{,}26^2 \cdot (0{,}17 + 0{,}05) = 6{,}1 \text{ кА}^2\text{с};$$

- для точки К2:

$$B_{k2} = 8{,}64^2 \cdot (1{,}57 + 0{,}12) = 126{,}2 \text{ кА}^2\text{с};$$

- для точки К3:

$$B_{k3} = 8{,}33^2 \cdot (0{,}57 + 0{,}05) = 43{,}0 \text{ кА}^2\text{с};$$

- для точки К4:

$$B_{k4} = 8{,}29^2 \cdot (0{,}57 + 0{,}03) = 41{,}2 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Таблица 2.4 – Результаты расчета токов короткого замыкания

Расчетная точка К.З.	$I''_{\text{п.о}}$, кА	$I_{\text{под.}}$, кА	$I_{\text{п.о}}$, кА	$i_{\text{у}}$, кА	$i_{a.t}$, кА	$B_к$, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
К1	5,26	0	5,26	13,4	6,1	6,1
К2	7,32	1,32	8,64	23,5	11,1	126,2
К3	7,02	1,31	8,33	21,2	9,6	43,0
К4	6,98	1,31	8,29	19,9	8,4	41,2

2.4 Выбор оборудования ОРУ-110кВ

Выбор высоковольтных выключателей производится по:

1. Номинальному напряжению. Номинальное напряжение сети, в которой устанавливается выключатель:

$$U_{\text{с.ном}} \le U_{\text{ном}}, \quad (2.29)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение выключателя.

2. Номинальному длительному току. Расчётный ток продолжительного режима цепи, в которой устанавливается выключатель:

$$I_{\max} \le I_{\text{ном}}, \quad (2.30)$$

где $I_{\text{ном}}$ - длительный номинальный ток выключателя.

3. Предельному периодическому току К3.

Начальный периодический сверхпереходный ток К3 в выключателе:

$$I'' \le I_{\text{пс}}, \quad (2.31)$$

где $I_{пс}$ - предельный сквозной ток (действующее значение периодической составляющей), допустимый для рассматриваемого выключателя.

4. Ударному току КЗ. Ударный ток КЗ в цепи, где устанавливается выключатель:

$$\mathbf{i}_{уд} = \sqrt{2}\,\mathbf{k}_{уд}\mathbf{I}'' \le \mathbf{i}_{дин} ,$$

(2.32)

где $i_{дин}$ - номинальный ток электродинамической стойкости выключателя (амплитудное значение предельного полного тока, допустимого для рассматриваемого аппарата).

5.Термической стойкости. Интеграл Джоуля тока КЗ, характеризующий количество теплоты ($кА^2 \cdot с$), выделяющейся в аппарате за время короткого замыкания:

$$B_к \le I^2_{пр.т} \cdot t_т , \qquad (2.33)$$

где $I_{пр.т}$ - предельный ток термической стойкости, который данный аппарат может выдержать без повреждения в течение предельного времени термической стойкости $t_т$.

Выбор разъединителей производится по:

1.Номинальному напряжению. Выбор производится аналогично выбору выключателей (см. ф.2.29).

2.Номинальному длительному току. Выбор производится аналогично выбору выключателей (см. ф.2.30).

3.Электродинамической стойкости. Проверка достаточна только по ударному току КЗ (см. ф.2.31).

4.Термической стойкости. Выбор производится аналогично выбору выключателей.

Выбор трансформаторов тока производится по:

1.Номинальному напряжению.Выбор по напряжению аналогичен выбору выключателей.

2.Номинальному току. Длительный рабочий расчётный ток цепи, в которую включается трансформатор тока:

$$I_{\text{расч}} \le I_{1\,\text{ном}}, \qquad (2.\ 34)$$

где $I_{1\,\text{ном}}$ - номинальный ток первичной цепи ТТ. Его величина выбирается как можно ближе к значению $I_{\text{раб.длит}}$, так как недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешностей.

3.Электродинамической стойкости. Ударный ток короткого замыкания:

$$i_{уд} \le \sqrt{2} \cdot k_{дин} \cdot I_{1ном}, \qquad (2.35)$$

где $k_{\text{дин}}$ - кратность электродинамической стойкости.

4.Термической стойкости. Интеграл Джоуля:

$$B_к \le (k_m \cdot I_{1ном})^2 \cdot t_m, \qquad (2.36)$$

где $k_т$ - кратность термической стойкости.

5.Нагрузке вторичных цепей.Вторичная нагрузка:

$$Z_2 \le Z_{2\,\text{ном}}, \qquad (2.37)$$

где $Z_{2\,\text{ном}}$ - номинальная допустимая нагрузка (при заданном классе точности), Ом.

Допускается определять вторичную нагрузку упрощено:

$$Z_2 = Z_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_к, \qquad (2.38)$$

где $Z_{\text{приб}}$ - сопротивление токовых катушек последовательно включённых приборов;

$R_{\text{пров}}$ - сопротивление соединительных проводов;

$R_к$ - переходное сопротивление контактов.

Исходные данные для выбора оборудования ОРУ 110 кВ:

- – напряжение сети U_C=110 кВ;
- – максимальный расчетный ток послеаварийного режима:

$$I_{p\ max} = \frac{S_{m\,ном} \cdot k_п}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \qquad (2.39)$$

где $k_п$=1,4 – допустимый коэффициент перегрузки трансформатора, о.е.

$$I_{\text{p.max}} = \frac{16000 \cdot 1{,}4}{\sqrt{3} \cdot 115} = 112{,}5 \text{ А}.$$

- – периодическая составляющая тока КЗ: $I_{ПО}$=5,26 кА;
- – ударный ток $i_{уд}$=13,4 кА;
- – тепловой импульс тока $B_К$ =6,1 кА^{2}с.

Результаты выбора аппаратов ОРУ 110 кВ представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Сводная таблица по выбору аппаратов РУ ВН

Тип оборудования	Условие выбора	Расчётные величины	Каталожные данные	Проверка условия
Выключатель ВГТ-110II-40/2500У1 (привод ППрК 1800С)	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк.в} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \geq t_т \geq B_к$	$U_{сети}$=110 кВ $I_{макс}$=112,5 А $I_{по}$=5,26 кА $i_{уд}$=13,4 кА $B_к$=6,1 кА^{2}с	$U_{ном}$=110 кВ $I_{ном}$=2500 А $I_{отк.в}$=40 кА $i_{дин}$=102 кА $I^2_т \cdot t_т$=40^2·3= =4800 кА^{2}с	110 кВ=110 кВ 2500 А>112,5 А 40 кА>5,26 кА 102 кА>13,4 кА 4800 кА^{2}с >6,1 кА^{2}с
Трансформатор тока ТГФ-110 150/5	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $(k \cdot I_{ном})^2 \cdot t_т \geq B_к$ $Z_{2\,ном} \geq Z_2$	$U_{сети}$=110 кВ $I_{макс}$=112,5 А $i_{уд}$=13,4 кА $B_к$=6,1 кА^{2}с Z_2=0,495 Ом	$U_{ном}$=110 кВ $I_{ном}$=150 А $i_{дин}$=100 кА $(k \cdot I_{ном})^2 \cdot t_т$= =35^2·3= =3675 кА^{2}с $Z_{2\,ном}$=0,8 Ом	110 кВ=110 кВ 150 А>112,5 А 100 кА>13,4 кА 3675 кА^{2}с >6,1 кА^{2}с 0,8 Ом>0,495 Ом
Разъединитель РГ-2-110/1000 УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \geq t_т \geq B_к$	$U_{сети}$=110 кВ $I_{макс}$=112,5 А $i_{уд}$=13,4 кА $B_к$=6,1 кА^{2}с	$U_{ном}$=110 кВ $I_{ном}$=1000 А $i_{дин}$=80 кА $I^2_т \cdot t_т$=31,5^2·3= =2977 кА^{2}с	110 кВ=110 кВ 1000 А>112,5 А 80 кА>13,4 кА 2977 кА^{2}с >6,1 кА^{2}с
Разъединитель РГ-1-110/1000 УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт} \geq t_т \geq B_к$	$U_{сети}$=110 кВ $I_{макс}$=112,5 А $i_{уд}$=13,4 кА $B_к$=6,1 кА^{2}с	$U_{ном}$=110 кВ $I_{ном}$=1000 А $i_{дин}$=80 кА $I^2_т \cdot t_т$=31,5^2·3= =2977 кА^{2}с	110 кВ=110 кВ 1000 А>112,5 А 80 кА>13,4 кА 2977 кА^{2}с >6,1 кА^{2}с
Заземлитель нейтрали ЗОН-110Б	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети}$=110 кВ	$U_{ном}$=110 кВ	110кВ=110кВ
Ограничитель перенапряжений ОПНп-110-УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети}$=110 кВ	$U_{ном}$=110 кВ	110кВ=110кВ
Ограничитель перенапряжений в нейтрали ОПНн-110-УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети}=\frac{110}{\sqrt{3}}$ кВ	$U_{ном}=\frac{110}{\sqrt{3}}$ кВ	$\frac{110}{\sqrt{3}}$ кВ= $\frac{110}{\sqrt{3}}$ кВ

2.5 Выбор оборудования ЗРУ-10кВ

Прием и распределение электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц номинального напряжения 10 кВ в сети с изолированной нейтралью предприятия осуществляется в ЗРУ 10 кВ. ЗРУ 10 кВ выполняем комплектным, состоящим из ячеек типа К-104М с вакуумными выключателями типа ВВ/TEL-10. Применение КРУ позволяет

сократить время, требуемое на проектирование, монтаж и наладку распределительных устройств.

Исходные данные для выбора оборудования 10 кВ:

- напряжение сети $U_{\text{сети}}$=10 кВ;
- периодическая составляющая тока КЗ: $I_{\text{ПО}}$=8,64 кА;
- ударный ток $i_{\text{уд}}$=23,5 кА;
- тепловой импульс тока $B_{\text{К}}$ =126,2 кА^{2}с.

Рассчитаем токи продолжительного режима работы электрооборудования 10кВ.

Расчётный ток для ячейки отходящей линии к ТП:

$$I_{p.max} = \frac{1,4 \cdot S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.40)$$

где $S_{\text{т.ном}}$ – номинальная мощность трансформатора ТП, кВА;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети на стороне ВН, кВ.

$$I_{p.max(ТП1)} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129,3 \text{ А};$$

$$I_{p.max(ТП2)} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,8 \text{ А}.$$

Расчётный ток для ячейки отходящей линии к СД:

$$I_{p.max} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (2.41)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение электродвигателя, кВ;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности ЭД, о.е.

η – КПД ЭД.

$$I_{p.max.СД1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,85 \cdot 0,958} = 28,4 \text{ А}.$$

$$I_{p.max.СД2} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,85 \cdot 0,958} = 44,7 \text{ А}.$$

Расчётный ток для ячейки отходящей линии к печи:

$$I_{p.max} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.42)$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность печи, кВА;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение печи, кВ.

$$I_{р.max(ИП1)} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 10} = 11{,}5 \text{ А};$$

$$I_{р.max(ИП2)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23{,}1 \text{ А};$$

$$I_{р.max(ДСП1)} = \frac{1250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 72{,}2 \text{ А}.$$

Расчётный ток для вводных ячеек ЗРУ 10 кВ:

$$I_{р.max} = \frac{1{,}4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1293{,}3 \text{ А}.$$

Секционная ячейка рассчитывается на половинный ток вводной ячейки:

$$I_{р.max} = \frac{1293{,}3}{2} = 646{,}7 \text{ А}.$$

Результаты выбора аппаратов ЗРУ 10 кВ представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Сводная таблица по выбору аппаратов РУ-10кВ

Тип оборудования	Условие выбора	Расчётные величины	Каталожные данные	Проверка условия
1	2	3	4	5
Вводной выключатель ВВ/TEL-10-20/1600УХЛ2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк.в} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт}^2 t_т \geq B_к$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=1293,3 А $I_{по}$=8,64 кА $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^{2}с	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=1600 А $I_{отк.в}$=20 кА $i_{дин}$=51 кА $I_{пт}^2 t_т$=1200 кА^{2}с	10 кВ=10 кВ 1600 А>1293,3 А 20 кА>8,64 кА 51 кА>23,5 кА 1200 кА^{2}с>126,2 кА^{2}с
Трансформатор тока вводной ячейки ТОЛ-10-1500/5У2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт}^2 t_т \geq B_к$ $Z_{ном} \geq Z_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=1293,3 А $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^{2}с $Z_{макс}$=0,185 Ом	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=1500 А $i_{дин}$=102 кА $I_{пт}^2 t_т = 40^2 \cdot 3$= 4800 кА$^2 \cdot$ с $Z_{ном}$=0,6 Ом	10 кВ=10 кВ 1500 А>1293,3 А 102 кА>23,5 кА 4800 кА^{2}с>126,2 кА^{2}с 0,6 Ом>0,185 Ом
Секционный выключатель ВВ/TEL-10-20/630УХЛ2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк.в} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт}^2 t_т \geq B_к$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=646,7 А $I_{по}$=8,64 кА $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^{2}с	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=630 А $I_{отк.в}$=20 кА $i_{дин}$=51 кА $I_{пт}^2 t_т = 20^2 3$ =1200 кА^{2}с	10 кВ=10 кВ 630 А>646,7 А 20 кА>8,64 кА 51 кА>23,5 кА 1200 кА^{2}с>126,2 кА^{2}с
Трансформатор тока секционной ячейки ТОЛ-10-800/5У2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт}^2 t_т \geq B_к$ $Z_{ном} \geq Z_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=646,7 А $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^{2}с $Z_{макс}$=0,105 Ом	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=800 А $i_{дин}$=102 кА $I_{пт}^2 t_т = 40^2 \cdot 3$= 4800 кА$^2 \cdot$ с $Z_{ном}$=0,6 Ом	10 кВ=10 кВ 800 А>646,7 А 102 кА>23,5 кА 4800 кА^{2}с>126,2 кА^{2}с 0,6 Ом>0,105 Ом
Выключатель отходящей линии к СТД-400 ВВ/TEL-10-20/630УХЛ2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк.в} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт}^2 t_т \geq B_к$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=28,4 А $I_{по}$=8,64 кА $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^{2}с	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=630 А $I_{отк.в}$=20 кА $i_{дин}$=51 кА $I_{пт}^2 t_т$=1200 кА^{2}с	10 кВ=10 кВ 630 А>28,4 А 20 кА>8,64 кА 51 кА>23,5 кА 1200 кА^{2}с>126,2 кА^{2}с
Трансформатор тока отходящей линии к СТД-400 ТОЛ-10-50/5У2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт}^2 t_т \geq B_к$ $Z_{ном} \geq Z_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=28,4 А $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^{2}с $Z_{макс}$=0,145 Ом	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=50 А $i_{дин}$=102 кА $I_{пт}^2 t_т = 40^2 \cdot 3$= 4800 кА$^2 \cdot$ с $Z_{ном}$=0,6 Ом	10 кВ=10 кВ 50 А>28,4 А 102 кА>23,5 кА 4800 кА^{2}с>126,2 кА^{2}с 0,6 Ом>0,145 Ом
Выключатель отходящей линии к СТД-630 ВВ/TEL-10-20/630УХЛ2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк.в} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт}^2 t_т \geq B_к$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=44,7 А $I_{по}$=8,64 кА $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^{2}с	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=630 А $I_{отк.в}$=20 кА $i_{дин}$=51 кА $I_{пт}^2 t_т$=1200 кА^{2}с	10 кВ=10 кВ 630 А>44,7 А 20 кА>8,64 кА 51 кА>23,5 кА 1200кА^{2}с>126,2кА^{2}с
Трансформатор тока отходящей линии к СТД-630 ТОЛ-10-50/5У2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт}^2 t_т \geq B_к$ $Z_{ном} \geq Z_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=44,7 А $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^{2}с $Z_{макс}$=0,145 Ом	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=50 А $i_{дин}$=102 кА $I_{пт}^2 t_т = 40^2 \cdot 3$= 4800 кА$^2 \cdot$ с $Z_{ном}$=0,6 Ом	10 кВ=10 кВ 50 А>44,7 А 102 кА>23,5 кА 4800 кА^{2}с>126,2 кА^{2}с 0,6 Ом>0,145 Ом

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4	5
Выключатель отходящей линии к ТП-1,2,7 (1000кВА) ВВ/TEL-10-20/630УХЛ2	$U_{ном}$ $U_{сети}$ $I_{ном}$ $I_{макс}$ $I_{отк.в}$ $I_{по}$ $i_{дин}$ $i_{уд}$ $I_{пт}$ $t_т$ $B_к$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=80,8 А $I_{по}$=8,64 кА $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^2 с	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=630 А $I_{отк.в}$=20 кА $i_{дин}$=51 кА $I^2_{пт}$ $t_т$=20^2 3 =1200 кА^2 с	10 кВ=10 кВ 630 А>80,8 А 20 кА>8,64 кА 51 кА>23,5 кА 1200 кА^2 с>126,2 кА^2 с
Трансформатор тока отходящей линии к ТП-1,2,7 (1000кВА) ТОЛ-10-100/5У2	$U_{ном}$ $U_{сети}$ $I_{ном}$ $I_{макс}$ $i_{дин}$ $i_{уд}$ $I_{пт}$ $t_т$ $B_к$ $Z_{ном}$ $Z_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=80,8 А $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^2 с $Z_{макс}$=0,145 Ом	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=100 А $i_{дин}$=102 кА $I^2_{пт}$ $t_т$=40$^2 \cdot$ 3= 4800 кА$^2 \cdot$ с $Z_{ном}$=0,6 Ом	10 кВ=10 кВ 100 А>80,8 А 102 кА>23,5 кА 4800 кА^2 с>126,2 кА^2 с 0,6 Ом>0,145 Ом
Выключатель отходящей линии к ТП-3,4,5,6,8 (1600кВА) ВВ/TEL-10-20/630УХЛ2	$U_{ном}$ $U_{сети}$ $I_{ном}$ $I_{макс}$ $I_{отк.в}$ $I_{по}$ $i_{дин}$ $i_{уд}$ $I_{пт}$ $t_т$ $B_к$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=129,3 А $I_{по}$=8,64 кА $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^2 с	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=630 А $I_{отк.в}$=20 кА $i_{дин}$=51 кА $I^2_{пт}$ $t_т$=20^2 3 =1200 кА^2 с	10 кВ=10 кВ 630 А>129,3 А 20 кА>8,64 кА 51 кА>23,5 кА 1200 кА^2 с>126,2 кА^2 с
Трансформатор тока отходящей линии к ТП-3,4,5,6,8 (1600кВА) ТОЛ-10-150/5У2	$U_{ном}$ $U_{сети}$ $I_{ном}$ $I_{макс}$ $i_{дин}$ $i_{уд}$ $I_{пт}$ $t_т$ $B_к$ $Z_{ном}$ $Z_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=129,3 А $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^2 с $Z_{макс}$=0,145 Ом	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=150 А $i_{дин}$=102 кА $I^2_{пт}$ $t_т$=40$^2 \cdot$ 3= 4800 кА$^2 \cdot$ с $Z_{ном}$=0,6 Ом	10 кВ=10 кВ 150 А>129,3 А 102 кА>23,5 кА 4800 кА^2 с>126,2 кА^2 с 0,6 Ом>0,145 Ом
Выключатель отходящей линии к ИП 1,2 (200кВА) ВВ/TEL-10-20/630УХЛ2	$U_{ном}$ $U_{сети}$ $I_{ном}$ $I_{макс}$ $I_{отк.в}$ $I_{по}$ $i_{дин}$ $i_{уд}$ $I_{пт}$ $t_т$ $B_к$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=11,5 А $I_{по}$=8,64 кА $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^2 с	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=630 А $I_{отк.в}$=20 кА $i_{дин}$=51 кА $I^2_{пт}$ $t_т$=20^2 3 =1200 кА^2 с	10 кВ=10 кВ 630 А>11,5 А 20 кА>8,64 кА 51 кА>23,5 кА 1200 кА^2 с>126,2 кА^2 с
Трансформатор тока отходящей линии к ИП 1,2 (200кВА) ТОЛ-10-25/5У2	$U_{ном}$ $U_{сети}$ $I_{ном}$ $I_{макс}$ $i_{дин}$ $i_{уд}$ $I_{пт}$ $t_т$ $B_к$ $Z_{ном}$ $Z_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=11,5 А $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^2 с $Z_{макс}$=0,145 Ом	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=25 А $i_{дин}$=102 кА $I^2_{пт}$ $t_т$=40$^2 \cdot$ 3= 4800 кА$^2 \cdot$ с $Z_{ном}$=0,6 Ом	10 кВ=10 кВ 25 А>11,5 А 102 кА>23,5 кА 4800 кА^2 с>126,2 кА^2 с 0,6 Ом>0,145 Ом
Выключатель отходящей линии к ИП 3,4 ВВ/TEL-10-20/630УХЛ2	$U_{ном}$ $U_{сети}$ $I_{ном}$ $I_{макс}$ $I_{отк.в}$ $I_{по}$ $i_{дин}$ $i_{уд}$ $I_{пт}$ $t_т$ $B_к$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=23,1 А $I_{по}$=8,64 кА $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^2 с	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=630 А $I_{отк.в}$=20 кА $i_{дин}$=51 кА $I^2_{пт}$ $t_т$=1200 кА^{2}с	10 кВ=10 кВ 630 А>23,1 А 20 кА>8,64 кА 51 кА>23,5 кА 1200 кА^{2}с>126,2 кА^{2}с
Трансформатор тока отходящей линии к ИП 3,4 (400кВА) ТОЛ-10-25/5У2	$U_{ном}$ $U_{сети}$ $I_{ном}$ $I_{макс}$ $i_{дин}$ $i_{уд}$ $I_{пт}$ $t_т$ $B_к$ $Z_{ном}$ $Z_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=23,1 А $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^2 с $Z_{макс}$=0,145 Ом	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=25 А $i_{дин}$=102 кА $I^2_{пт}$ $t_т$=40$^2 \cdot$ 3= 4800 кА$^2 \cdot$ с $Z_{ном}$=0,6 Ом	10 кВ=10 кВ 25 А>23,1 А 102 кА>23,5 кА 4800 кА^2 с>126,2 кА^2 с 0,6 Ом>0,145 Ом

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4	5
Выключатель отходящей линии к ДСП 1,2 (1250кВА) ВВ/TEL-10-20/630УХЛ2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $I_{отк.в} \geq I_{по}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт}^2 \cdot t_т \geq B_к$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=72,2 А $I_{по}$=8,64 кА $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^2·с	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=630 А $I_{отк.в}$=20 кА $i_{дин}$=51 кА $I^2_{пт} \cdot t_т$=20^2·3 =1200 кА^2·с	10 кВ=10 кВ 630 А>72,2 А 20 кА>8,64 кА 51 кА>23,5 кА 1200 кА^2·с>126,2 кА^2·с
Трансформатор тока отходящей линии к ДСП 1,2 (1250кВА) ТОЛ-10-75/5У2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$ $i_{дин} \geq i_{уд}$ $I_{пт}^2 \cdot t_т \geq B_к$ $Z_{ном} \geq Z_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=72,2 А $i_{уд}$=23,5 кА $B_к$=126,2 кА^2·с $Z_{макс}$=0,145 Ом	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=75 А $i_{дин}$=102 кА $I^2_{пт} \cdot t_т$=40$^2 \cdot$ 3= 4800 кА$^2 \cdot$ с $Z_{ном}$=0,6 Ом	10 кВ=10 кВ 75 А>72,2 А 102 кА>23,5 кА 4800 кА^2·с>126,2 кА^2·с 0,6 Ом>0,145 Ом
Трансформатор напряжения НТМИ-10У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $S_{ном} \geq S_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $S_{макс}$=27,0 ВА	$U_{ном}$=10 кВ $S_{2ном}$=120 ВА	10 кВ=10 кВ 120 ВА>27,0 ВА
Предохранитель к ТН ПКН-001-10-2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=0,1 А	$U_{ном}$=10 кВ $I_{ном}$=0,5 А	10 кВ=10 кВ 0,5 А>0,1 А
Предохранитель к ТСН ПКТ-101-10-12,5У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{макс}$	$U_{сети}$=10 кВ $I_{макс}$=3,23 А	$U_{ном}$=10 кВ $I_{вст}$=4 А	10 кВ=10 кВ 4 А>3,23 А
Ограничитель перенапряжений ОПН-КР/ TEL-10УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{сети}=\frac{10}{\sqrt{3}}$ =5,77 кВ	$U_{ном}$=10,5 кВ	10,5 кВ>5,77 кВ

2.6 Выбор вида и источников оперативного тока

Оперативный ток используется для питания оперативных цепей управления, защиты, автоматики, телемеханики и сигнализации, включающих и отключающих устройств коммутационных аппаратов, а также для аварийного освещения при нарушениях нормальной работы подстанции.

К постоянно включенным электроприемникам оперативного тока относятся сигнальные лампы, катушки реле и постоянно включенная часть аварийного освещения.

Выбираем систему смешанного оперативного тока (переменно-выпрямленного). В качестве источников системы смешанного оперативного тока выбираем шкаф управления оперативного тока типа ШУОТ-2403-3372 УХЛ4.

Обозначение типа ШУОТ-2403-3372:

ШУОТ – шкаф управления оперативным током;

2 – НКУ управления, измерения, сигнализации, автоматики и защиты главных щитов (пунктов) управления подстанции;

4 – НКУ общеподстанционных устройств;

03 – порядковый номер разработки;

33 – обозначение величины номинального выходного тока (20 А);

7 – обозначение типоисполнения в зависимости от напряжения и частоты питающей сети;

2 – обозначение величины выходного напряжения (230 В).

ШУОТ обеспечивает:

- питание цепей электромагнитов включения высоковольтных выключателей от выпрямительного устройства, работающего в импульсном режиме;
- питание цепей оперативного постоянного тока от аккумуляторной батареи и автоматического подзарядного устройства;
- работу аккумуляторной батареи в режиме постоянного подзаряда;
- автоматическое поддержание температуры воздуха в аккумуляторном отсеке шкафа не ниже заданной величины с помощью электронагревателей;
- контроль и измерение величины сопротивления изоляции в цепях оперативного тока;
- защиту узлов схемы и отходящих линий оперативного тока от перегрузок и коротких замыканий автоматами и предохранителями с одновременной световой сигнализацией.

Технические данные ШУОТ приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Технические данные ШУОТ-2403-3372

Параметр	ШУОТ-2403-3372
Номинальное выходное напряжение, В	230
Номинальный выходной ток, А	20
Диапазон регулирования выходного напряжения при отключённой аккумуляторной батарее, В	50-240
Коэффициент мощности (cos φ) в номинальном режиме, не менее	0,7
Максимальная потребляемая мощность, кВ · А	10
Номинальная выходная мощность, кВт	4,6
Потери электрической энергии, Вт	260
Число отходящих линий	12

Цепи релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации получают питание от аккумуляторной батареи и автоматического подзарядного устройства, входящего в комплект ШУОТ.

От выпрямительного устройства ШУОТ (работающего в импульсном режиме) запитываются электромагниты включения приводов выключателей ВВ/TEL-10 и ВГТ-110II. Максимальный потребляемый ток приводом составляет 2,5А (U=220В), что меньше тока выдаваемого выпрямителем - 20А.

Питание электродвигателей заводки включающей пружины приводов выключателей ВВ/TEL-10 и ВГТ-110II производится переменным током от шин собственных нужд.

2.7 Выбор трансформаторов собственных нужд ГПП

Мощность потребителей собственных нужд подстанций невелика (от 50 до 300кВт), поэтому они питаются от сети 380/220В. Для их питания предусматривается установка двух трансформаторов собственных нужд

(ТСН), мощность которых выбирается в соответствии с нагрузкой с учетом допускаемой перегрузки при отказах и ремонтах одного из трансформаторов. Суммарная расчетная нагрузка потребителей собственных нужд:

$$S_{рас} = k_c \cdot \sqrt{(\Sigma P_{уст.1})^2 + (\Sigma Q_{уст.1})^2}\,, \quad (2.42)$$

где k_c - коэффициент спроса, учитывающий коэффициенты загрузки и одновременности. В ориентировочных расчетах принимается k_c=0,8.

Таблица 2.7 - Нагрузка собственных нужд ГПП

Вид потребителя	Установленная мощность			cosφ	sinφ	Нагрузка	
	P, кВт	кол-во	Всего, кВт			$P_{уст}$, кВт	$Q_{уст}$, кВАр
ЭД обдува силовых трансформаторов ТДН-16000/110/10	4×0,25	2	2	0,85	0,52	2	1,24
Подогрев приводов выключателей ВГТ-110	0,8	2	1,6	1	0	1,6	0
Освещение ОРУ-110 кВ	0,7	12	8,4	0,9	0,44	8,4	4,1
Освещение, отопление, вентиляция ЗРУ-10кВ	-	-	20	0,9	0,44	20	9,78
Освещение, отопление, вентиляция ОПУ и подсобных помещений	-	-	10	0,9	0,44	10	4,89
Аппаратура связи	-	-	3	0,8	0,6	3	2,3
ШУОТ	5кВА	2	10кВА	0,7	0,71	7	7,10
ЭД завода включающей пружины ВГТ-110	0,75	2	1,5	0,85	0,52	1,5	0,93
ЭД завода включающей пружины ВВ/TEL-10 (ввода, секционный)	0,25	3	0,75	0,85	0,52	0,75	0,46
Итого:						54,25	30,8

$$S_{рас} = 0,8 \cdot \sqrt{54,25^2 + 30,66^2} = 49,9 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{т.расч} = \frac{S_{рас}}{K_{п.ав}} = \frac{49,9}{1,4} = 35,6 \text{ кВА}.$$

Принимаем два трансформатора ТМ-40/10: $S_{ном}$=40кВа, $U_{вн}$=10кВ, $U_{нн}$=0,4кВ, $U_к$=4,5%. При отключении одного трансформатора второй будет загружен на

$K_{з.ав}$ = 49,9/40=1,25, что допустимо.

ТСН присоединяем через предохранители ПКТ-101-10 ($I_{вст}$=4А) к вводам 10кВ главных трансформаторов до выключателей вводов в ЗРУ-10кВ. Так как ТСН мощностью 40кВА, то их устанавливаем вне ячеек 10кВ.

$$I_{раб.max} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 40}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3,23 \text{ А}.$$

Условие выбора плавкой вставки:

$I_{раб.max} \le I_{вст}$;

3,23 А < 4 А – условие выполняется.

Вторичным напряжением 380/220В от ТСН запитывается щит собственных нужд, выполняемый по схеме одиночной системы сборных шин, секционированной автоматическим выключателем (автоматом).

Щит собственных нужд устанавливается в закрытом помещении РУ-10кВ.

2.7 Определение видов учета электроэнергии и электрических измерений

Система учета и измерений определяется схемой электроснабжения предприятия, характером присоединенных потребителей и схемой коммутации.

Система учета на промышленных предприятиях даёт возможность:

- определения количества энергии, полученной от энергосистемы;
- производства внутризаводского межцехового расчета за электроэнергию, израсходованную различными хозрасчетными потребителями предприятия;
- установления, уточнения и контроля удельных норм расхода электроэнергии на единицу продукции;
- контроля потребления и выработки реактивной мощности по всему предприятию в целом и по отдельным потребителям.

Учет электроэнергии делится на расчетный и технический. Первый служит для расчета предприятия с энергоснабжающей организацией, второй - для осуществления хозрасчета и контроля расходования электроэнергии внутри предприятия.

Счетчики для расчета энергоснабжающей организации с потребителями устанавливаются на границе раздела сети организации и потребителя. Классы точности счетчиков активной энергии должны быть не ниже 1,0, а измерительных трансформаторов - не ниже 0,5.

Для технического учета могут применяться трансформаторы тока класса точности 1,0 и счетчики с классом точности не выше 2,5.

На предприятии действует двухставочный тариф на электроэнергию с оплатой заявленного по величине максимума нагрузки, совпадающего с

максимумом нагрузки энергосистемы. Поэтому на заводе применяются специальные счетчики активной энергии, фиксирующие максимум нагрузки с интервалом 30 минут. Они состоят из специального счетчика с фиксацией 30-ти минутного максимума и электрических часов.

Контрольный учет внутри предприятия отражает отдельно расход электроэнергии на силовую нагрузку и освещение. Поэтому все осветительные линии напряжением 380/220 В оснащены счетчиками активной энергии.

На всех отходящих от ТП линиях устанавливаются счетчики активной энергии. На линиях, питающих ТП, также устанавливаются счетчики активной энергии, как и на всех линиях к электроприемникам напряжением выше 1000 В.

Контрольный учет реактивной энергии осуществляется на всех компенсирующих установках (конденсаторах и синхронных электродвигателях). Учет потребляемой реактивной энергии производится на всех линиях к ТП.

Все линии напряжением до и выше 1000В на ТП, ГПП снабжены амперметрами. Для синхронного электродвигателя, кроме амперметра в цепи статора, устанавливается амперметр в цепи возбуждения для контроля режима компенсации реактивной нагрузки.

Для контроля напряжения на всех секциях сборных шин устанавливаются вольтметры. В цеховых ТП вольтметры устанавливаются только на шинах вторичного напряжения.

Ваттметры устанавливаются на вводах 10кВ трансформаторов ГПП для контроля нагрузки предприятия в целом.

Перечень измерительных приборов подстанции приведен в таблице 2.9.

Таблица 2.8 - Перечень измерительных приборов

Цепь	Место установки приборов	Перечень приборов
Двухобмоточного трансформатора	ВН	Амперметр
	НН	Амперметр, счетчики активной и реактивной энергии
Сборные шины КРУ-10кВ	На ячейках трансформаторов напряжений каждой секции	Вольтметр для измерения междуфазного напряжения
Секционный выключатель	—	Амперметр
Линия к потребителю	—	Амперметр, счетчики активной и реактивной энергии
Трансформатор собственных нужд	ВН	—
	НН	Амперметр, счетчик активной энергии

В качестве приборов коммерческого учета электрической энергии используются электронные счетчики электроэнергии типа СЭТ. Для технического учета электроэнергии применяются счетчики типа ПСЧ, характеристики данных счетчиков приведены в таблице 10.2, 10.3 соответственно.

Счетчики состоят из датчиков напряжения и тока, аналогово-цифрового устройства с предварительным преобразованием тока и напряжения каждой фазы в импульсные сигналы, их широтно-импульсным перемножением и пофазным преобразованием в частоту следования импульсов, сумма которых на выходе драйвера дает информацию о количестве учтенной электроэнергии и микропроцессора с ОЗУ на отдельных микросхемах.

Встроенный микроконтроллер выполняет функции связи с энергонезависимой памятью для записи в нее потребляемой электроэнергии, а также поддерживает интерфейсные функции связи с внешними устройствами по последовательному каналу RS-485 при работе в

автоматизированной системе сбора и учета данных о потребляемой электроэнергии.

Таблица 2.9 – Технические характеристики счетчиков СЭТ

Наименование счетчика, марка	СЭТ-4ТМ.02.0
Номинальная сила тока в каждой фазе, А	5
Максимальная сила тока, А	7,5
Номинальное напряжение, В	3×57,7/100
Диапазон частот измерительной сети, Гц	От 47,5 до 52,5
Класс точности:	0,5(акт.), 2(реакт.)
Порог чувствительности по каждой фазе, Вт	0,3
Цена одного десятичного разряда счетного механизма	
-младшего, кВт · ч;	0,1 или 0,001
-старшего, кВт · ч;	10000
Передаточные числа основного выхода (имп./кВт · ч, имп./квар · ч)	5000/160000
Скорость обмена по последовательному интерфейсу, бод	300 – 9600
Активная потребляемая в каждой фазе мощность, ВА, не более	2
Средняя наработка до отказа, ч	35000
Средний срок службы, лет	24
Гарантийный срок эксплуатации, мес.	18
Межповерочный интервал, лет	6
Условия эксплуатации:	
Температура окружающего воздуха, С°	-20÷+55
Относительная влажность, % при t=30, С°	90
Масса счетчика, кг	1,5
Габаритные размеры, мм	323×170×77

Таблица 2.10 – Технические характеристики счетчиков ПСЧ

Наименование счетчика, марка	ПСЧ-4ТА.03.1
Номинальная сила тока в каждой фазе, А	5
Максимальная сила тока, А	50
Номинальное напряжение, В	3×220/380
Диапазон частот измерительной сети, Гц	50±2,5
Класс точности:	1
Порог чувствительности по каждой фазе, А	0,0125
Цена одного десятичного разряда счетного механизма	
-младшего, кВт · ч;	0,1 или 0,001
-старшего, кВт · ч;	10000
Передаточные числа основного выхода (имп./кВт · ч)	500
Скорость обмена по последовательному интерфейсу, бод	300 – 9600
Активная потребляемая в каждой фазе мощность, ВА, не более	1,5
Средняя наработка до отказа, ч	55000
Средний срок службы, лет	30
Гарантийный срок эксплуатации, мес.	24
Межповерочный интервал, лет	6
Условия эксплуатации:	
Температура окружающего воздуха, С°	-20÷+55
Относительная влажность, % при t=30, С°	90
Масса счетчика, кг	1,5
Габаритные размеры, мм	325×170×77

3. Безопасность и экологичность проекта

3.1 Расчёт защитного заземления ГПП

На ГПП предусматривается защитное заземление, обеспечивающее защиту обслуживающего персонала от опасных напряжений прикосновения к металлическим частям, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением из-за повреждения изоляции.

В расчёте заземления не учитываются естественные заземлители, которые на ГПП, как правило, отсутствуют. Поэтому расчёт осуществляется только для заземлений, выполняемых искусственно.

Искусственное заземляющее устройство выполняется из полосовой стали в виде горизонтальной сетки, выполненной из проводников диаметром 2 см, проложенной на глубине 0,5-0,7 м, к которой присоединяется заземляемое оборудование. Расстояние между полосами сетки составляет 5 м. Граница заземляющего устройства находится на расстоянии не менее 3 м от ограждения подстанции. К сетке добавляются вертикальные электроды длиной 5 м, расположенные по периметру и приваренные в узлах к стальной сетке. Расстояние между электродами принимается не менее их длины.

Расчёт заземляющего устройства ГПП осуществляется в соответствии с условием, что в любое время года его сопротивление Rз не должно превышать допустимого значения.

Площадь используемая под заземлитель подстанции S=1500 м^2. Реальный заземлитель при расчёте заменяем эквивалентным в виде квадрата со стороной $\sqrt{S} = \sqrt{1500} = 38{,}73$ м, который имеет ту же площадь, общую протяжённость проводников сетки и количество вертикальных электродов.

Находим наибольшее допустимое напряжение прикосновения:

$$U_{пр} \leq I_ч \cdot R_ч + 1{,}5 \cdot I_ч \cdot \rho_{вс},$$

где $I_ч$ определяется длительностью воздействия $\tau_в$=0,2 с;

$I_ч$ = 250 мА;

$\rho_1 = \rho_{вс}$ = 200 Ом · м;

ρ_2 = 100 Ом · м;

h_1 = 0,8 м;

$R_ч$ = 1000 Ом.

$U_{пр} \leq 0,25 \cdot 1000 + 1,5 \cdot 0,25 \cdot 200 = 325$ В.

Принимаем допустимое напряжение прикосновения равным 325 В.

Зная наибольшее допустимое напряжение прикосновения, определим напряжение на заземлителе:

$$U_з = \frac{U_{пр.доп}}{K_П}; \quad (3.1)$$

$$K_П = \frac{M \cdot \beta}{\left(L_В \cdot L_Г / \left(a \cdot \sqrt{S}\right)\right)^{0,45}}, \quad (3.2)$$

где $L_г$=9х30+7х40=550м – длина горизонтальных заземлителей;

a=5м – расстояние между заземлителями;

S=30х40=1200м^2 – прощадь расчётной модели;

M=0,75 при ρ_1/ρ_2=2.

$$\beta = \frac{R_ч}{R_ч + R_{ВС}} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 200} = 0,77;$$

$$K_П = \frac{0,75 \cdot 0,77}{\left(5 \cdot 550 / \left(5 \cdot \sqrt{1200}\right)\right)^{0,45}} = 0,166.$$

Напряжение на заземлителе:

$$U_з = \frac{325}{0,166} = 1957,8 \text{ В}.$$

Для определения сопротивления заземляющего устройства необходимо знать ток $I_з$, стекающий в землю через заземлители, величина которого составляет некоторую долю от тока однофазного к.з. Для подстанций, на которых имеются заземленные нейтрали трансформаторов, $I_З \leq (0,4 - 0,6) I^{(1)}_{п.о}$.

Для расчёта применяем ток однофазного к.з. равным половине трехфазного к.з. на стороне 110 кВ, т.е. $I^{(1)}_{п.о} = 0,5 \cdot I``_к = 0,5 \cdot 5260 = 2630$ А.

Величину $I_З$ принимаю равной половине $I^{(1)}_{п.о}$

$$I_З = 0,5 \cdot I^{(1)}_{п.о} = 0,5 \cdot 2630 = 1315 \text{ А}.$$

Т.к. $U_з = I_з \cdot R_з$, то сопротивление заземляющего устройства должно быть:

$$R_З = \frac{U_З}{I_З} = \frac{1957,8}{1315} = 1,49 \text{ Ом}.$$

Действительный план заземляющего устройства преобразовываем в расчетную квадратную модель со стороной:

$\sqrt{S} = \sqrt{30 \times 40} = 34,64$ м.

Число ячеек по стороне квадрата:

$$m = \frac{L_Г}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1 = \frac{550}{2 \cdot \sqrt{1200}} - 1 = 7,94. \quad (3.3)$$

Принимаем m=8. Длина полос в расчетной модели:

$L'_г = 2 \cdot \sqrt{S} \cdot (m+1) = 2 \cdot 34,64 \cdot (8+1) = 623,5$ м.

(3.4)

Длина сторон ячейки:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m} = \frac{34,64}{8} = 4,33 \text{ м}. \quad (3.5)$$

Число вертикальных заземлителей по периметру контура: при $a/l_в$=1:

$$n_В = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_В} = \frac{34,64 \cdot 4}{5} = 27,71. \quad (3.6)$$

Принимаем $n_в$=28 шт.

Общая длина вертикальных заземлителей:

$L_в = l_в \cdot n_в = 5 \cdot 28 = 140$ м. (3.7)

Относительная глубина:

$$A = 0,38 - 0,25 \cdot \frac{I_В + t}{\sqrt{S}} = 0,38 - 0,25 \cdot \frac{5 + 0,7}{34,64} = 0,339. \quad (3.8)$$

Для ρ_1/ρ_2=2 и $a/l_в$=1 определяем $\rho_э/\rho_2$=1,05, тогда $\rho_э = 1,05 \cdot \rho_2$=1,05 · 100=105 Ом · м.

Общее сопротивление сложного заземлителя:

$$R_З = A \cdot \frac{\rho_Э}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_Э}{L'_Г + L_В} = 0,339 \cdot \frac{105}{34,64} + \frac{105}{623,5 + 140} = 1,17 \text{ Ом}, \quad (3.9)$$

что меньше $R_{з\,доп}$=1,49 Ом.

Находим напряжение прикосновения:

$U_{пр}=K_{п} \cdot I_{з} \cdot R_{з}=0,166 \cdot 1315 \cdot 1,17 = 255,4$ В,

что меньше допустимого значения 325 В.

Максимально допустимый ток однофазного КЗ:

$I_{з.max}=U_{пр.доп}/(K_{п} \cdot R_{з})=325/(0,166 \cdot 1,17)=1673,4$ А.

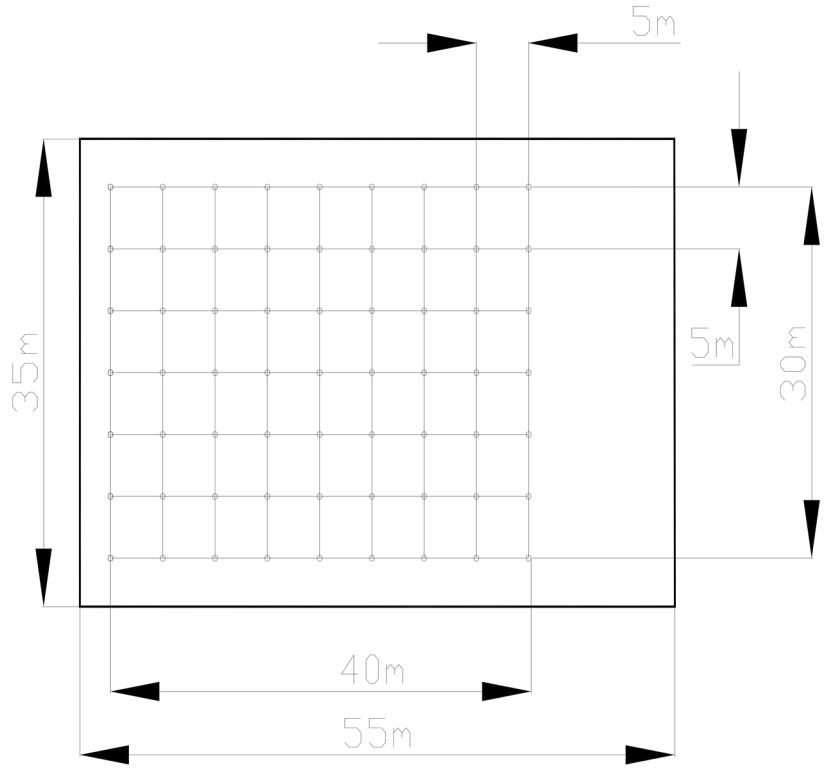

Рисунок 3.1 - План заземления ГПП

3.2 Расчет молниезащиты ГПП

Одним из важнейших условий бесперебойной работы подстанций является обеспечение надежной грозозащиты зданий, сооружений и электрооборудования подстанций.

Согласно ПУЭ (4.2.135) открытая подстанция 110 кВ должна быть защищена от прямых ударов молнии. Защита зданий ЗРУ, имеющих металлическое покрытие кровли, выполняется заземлением этих покрытий. Согласно ПУЭ (4.2.136) от стоек конструкций ОРУ-110 кВ с молниеотводами обеспечивается растекание тока молнии по магистралям заземления в двух-трех направлениях. На расстоянии 3 м от молниеотвода установлены два

вертикальных электрода заземления длиной 5 м. Согласно ПУЭ (4.2.140) место присоединения конструкции со стержневым молниеотводом к заземляющему контуру подстанции расположено на расстоянии более 15 м по магистралям заземления от места присоединения к нему трансформатора.

Защита подстанции от волн перенапряжений, набегающих с линий электропередачи, осуществляется ограничителями перенапряжений ОПН-110УХЛ1.

Защита открытых распределительных устройств ГПП осуществляется стержневыми молниеотводами. На высоте h_x защищаемого объекта (наиболее выступающих элементов ОРУ) радиус действия молниеотвода определяется по формуле:

$$r_x = h_a \cdot \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h} \cdot p}, \qquad (3.10)$$

где h - высота молниеотвода (h=17м);

h_a - активная высота молниеотвода.

$$h_a = h - h_x, \qquad (3.11)$$

где p- коэффициент, равный: p=1 для молниеотводов при h<30м; p=5,5/h для молниеотводов при h>30м.

Наибольшая высота защищаемого объекта h_x=11 м - линейные и трансформаторные порталы. Для сооружения молниезащиты подстанции принимаем четыре молниеотвода высотой h=17м, тогда:

h_a=17-11=6 м.

Радиус действия r_x каждого молниеотвода определяем по формуле (3.10):

$$r_x = 6 \cdot \frac{1,6}{1 + \frac{11}{17} \cdot 1} = 5,83 \text{ м};$$

$$b_x = 4 \cdot r_x \cdot \frac{7 \cdot h_a - a}{14 \cdot h_a - a}; \qquad (3.12)$$

$$b_{x1} = 4 \cdot 5,83 \cdot \frac{7 \cdot 6 - 38}{14 \cdot 6 - 38} = 2,03 \text{ м};$$

$$b_{x2} = 4 \cdot 5{,}83 \cdot \frac{7 \cdot 6 - 17}{14 \cdot 6 - 17} = 8{,}7 \text{ м},$$

где a - расстояние между молниеотводами (a_1=38м, a_2=17м).

Объект высотой h_x внутри зоны защиты будет защищен, если выполняется условие:

$$D \le 8 \cdot h_a \cdot p ,$$

(3.13)

где D - диагональ четырехугольника.

$$D = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} = \sqrt{38^2 + 17^2} = 41{,}6 \text{ м}; \quad (3.14)$$

$41{,}6 < 8 \cdot 6 \cdot 1 = 48$ м.

Молниеотводы 1, 2 устанавливаем на порталах, молниеотводы 3, 4 устанавливаем на здании ЗРУ-10кВ.

Общая зона действия четырёх стержневых молниеотводов показана на рисунке 3.2.

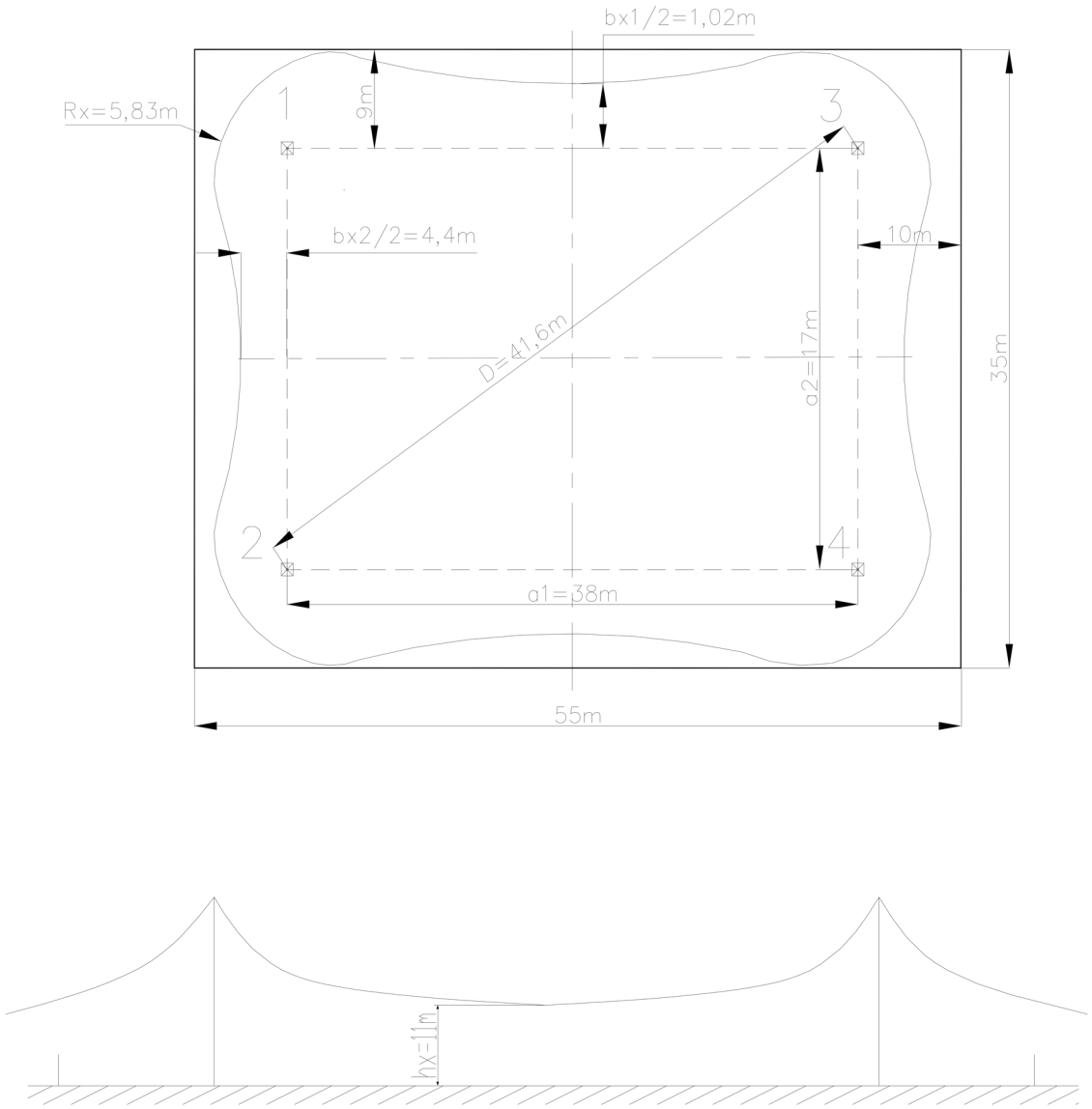

Рисунок 3.2 - Зона защиты четырёх стержневых молниеотводов

3.3 Анализ опасных и вредных факторов

В состав ГПП входят открытое распределительное устройство напряжением 110кВ (ОРУ-110кВ), закрытое распределительное устройство напряжением 10кВ (ЗРУ-10кВ), два силовых трансформатора марки ТДН-16000/110 напряжением 110/10кВ, мощностью 16 МВА каждый. ГПП

соединяется с энергосистемой двумя воздушными линиями 110кВ, выполненными проводом марки АС-70/11.

Сеть 110 кВ работает в режиме с заземленной нейтралью, сеть 10 кВ работает в режиме с изолированная нейтралью.

На территории подстанции расположено здание, в котором находятся общеподстанционный пункт управления (ОПУ), ЗРУ-10кВ и подсобные помещения.

Питание потребителей осуществляется кабельными линиями марки АПвПг, проложенными по технологическим эстакадам при числе рядом проложенных кабелей более шести и в земляной траншее при меньшем числе кабелей.

При эксплуатации электрооборудования ГПП на оперативный персонал могут воздействовать следующие опасные и вредные факторы согласно положения ССБТ ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»:

- - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; предвигающиеся изделия, заготовки, материалы;
- - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- - повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- - повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- - повышенный уровень шума на рабочем месте;
- - повышенный уровень вибрации;
- - повышенная или пониженная влажность воздуха;
- - повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- - повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне;
- - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

- - повышенный уровень электромагнитных излучений;
- - повышенная напряженность электрического поля;
- - повышенная напряженность магнитного поля;
- - отсутствие или недостаток естественного света;
- - недостаточная освещенность рабочей зоны;
- - повышенная пульсация светового потока;
- - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
- - расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола).

Источниками загрязнения в процессе эксплуатации оборудования и при аварийных ситуациях являются маслонаполненные аппараты, утечка масла из которых может привести к загрязнению окружающей среды (силовые трансформаторы, трансформаторы собственных нужд, трансформаторы напряжения). Возможно загрязнение территории отходами, повышенный уровень электромагнитного излучения, повышенный уровень шума на рабочих местах.

3.3.1 Микроклимат

Оптимальные и допустимые параметры воздуха рабочей зоны в помещениях определяются по СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Микроклимат в помещениях подстанции определяется следующими параметрами:

- температура воздуха $t_в$ (^{0}C);
- температура поверхностей $t_п$ (^{0}C).
- относительная влажность воздуха φ (%);
- скорость перемещения воздуха в рабочей зоне V (м/с);
- интенсивностью теплового излучения (Вт/м^2).

Работы, выполняемые в ОПУ оперативным персоналом подстанции, относятся к категории Iб. Это работы с интенсивностью энерготрат 140-174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Допустимые параметры микроклимата, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Допустимые параметры микроклимата помещения

Период года	Категория работ	Температура воздуха, ^{0}C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб	19-24	15-75	0,2
Теплый	Iб	20-28	15-75	0,3

Для обеспечения параметров микроклимата в помещениях ГПП согласно СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» применяются системы отопления и вентиляции, приведённые в таблице 13.2.

Таблица 3.2 – Системы отопления и вентиляции

Помещение	Система отопления	Система вентиляции
ОПУ	Электрическое	Приточно-вытяжная
ЗРУ	Не предусматривается	Аварийная (дымовая), вытяжная с пятикратным воздухообменом
Подсобные помещения	Электрическое	Естественная

3.3.2 Производственное освещение

Согласно СНиП 23-05-95 “Естественное и искусственное освещение” классификация зрительных работ по точности определяется в зависимости от

характеристики зрительной работы (наименьшего размера объекта различения), фона, контраста, вида и системы освещения.

Для освещения подстанции применяем следующие виды освещения: рабочее, аварийное, охранное.

Охранное освещение ОРУ 110 кВ в темное время суток осуществляется прожекторами с лампами ДРИ; минимальная освещенность - 10 люкс.

Таблица 3.3 – Нормируемая освещённость и виды источников света в помещениях подстанции

Помещение	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк	Источник света
Помещение щитов (ОПУ) при постоянном пребывании людей: - фасад щита, - задняя сторона щита, - Пульт управления	 IVг VI IVг	 200 75 200	 ЛЛ ЛЛ ЛЛ
Помещения РУ: - фасад, - задняя сторона.	 IVг VI	 200 75	 ЛЛ ЛЛ
Подсобные помещения	-	75	ЛЛ

3.3.3 Шум и вибрация

Источниками вибрации и шума на подстанции являются: магнитная система и система охлаждения трансформаторов, привод высоковольтных выключателей, разъединителей и вентиляторы здания.

Классификация шума:

- по происхождению – электромагнитный, механический, аэродинамический;
- по спектральному составу - широкополосный;
- по временным характеристикам - постоянный.

Нормирование шума производится по СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» в зависимости от вида трудовой деятельности по предельному спектру уровней звукового давления, дБ, или эквивалентному уровню звукового давления.

Допустимые значения шума в помещениях ОПУ указаны в таблице 13.4.

Таблица 3.4 – Допустимые значения шума в ОПУ

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
В помещениях диспетчерской службы с речевой связью по телефону	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Классификация вибрации:

- - по источнику возникновения – общая;
- - по категории - технологическая типа "б" (на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию).

Вибрация нормируется по Санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» величиной виброскорости (м/с), виброускорения (м/с^2) и их логарифмическими уровнями (дБ) в зависимости от вида вибрации и частоты (Гц). Допустимые значения вибрации на рабочих местах приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Предельно-допустимые значения виброскорости

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения виброскорости, дБ
	технологическая
	типа «б»
1,0	-
2,0	100
4,0	91
8,0	85
16,0	84
31,5	84
63,0	84
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	84

Нормируемые параметры шума определены по ГОСТ 12.2.024-76 «Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля»
Для трансформатора ТДН-16000/110 мощностью 16МВА допустимое значение среднего уровня звука 71дБА.

Шум, создаваемый трансформатором, рассчитывается по формуле:

$$L^{m}_{\text{ра}} = 0{,}009 \cdot N_{\text{т}} + 71, \qquad (3.14)$$

где $L^{m}_{\text{ра}}$ – корректированные уровни звукового давления трансформаторов с выключенным охлаждением, дБА;

$N_{\text{т}}$ – мощность трансформатора, МВА.

$N_{m} = S_{ном} = 16$ МВА;

$L^{m}_{\text{ра}} = 0{,}009 \cdot 16 + 71 = 71{,}14$ дБА.

Шум, создаваемый системой охлаждения, рассчитывается по формуле:

$$L^{A}_{\text{ра}} = L^{1}_{\text{ра}} + 10 \cdot lg(n) \cdot m, \qquad (3.15)$$

где $L^{A}_{\text{ра}}$ - скорректированный уровень звукового давления системы охлаждения, дБА;

$L^{1}_{\text{ра}}$ - скорректированный уровень звукового давления одного охлаждающего устройства, дБА;

Вид системы охлаждения: Д - $L^{1}_{\text{ра}} = 89$ дБА;

m – количество охлаждающих устройств в системе;

$n = 2$ при навесном исполнении системы охлаждения на боковой поверхности.

$L^{A}_{\text{ра}} = 89 + 10 \cdot \lg(2) \cdot 2 = 92{,}0$ дБА.

Суммарный уровень звукового давления ($L_{\text{ра}}$, дБА) определяется:

$$L_{\text{ра}} = 10 \cdot lg(10^{0,1 \cdot Lm\text{ра}} + 10^{0,1 \cdot LA\text{ра}}); \qquad (3.16)$$

$L_{\text{ра}} = 10 \cdot lg(10^{0,1 \cdot 71,14} + 10^{0,1 \cdot 92,0}) = 92{,}0$ дБА.

Допустимое значение шума по ГОСТ 12.2.024-87 ССБТ «Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля» $L_{a.\text{доп}} = 71$ дБА. Расчётное значение шума больше допустимого:

92,0 дБА > 71 дБА.

3.3.4 Электробезопасность

В процессе эксплуатации электрооборудования ГПП существует вероятность поражения электрическим током в следствии:

- прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- прикосновения к металлическим корпусам, которые оказались под напряжением в случае пробоя изоляции;

- ошибочной подачи напряжения при ремонте электрооборудования;
- возникновения шагового напряжения;
- приближения на недопустимо малое расстояние к токоведущим частям;
- наведенного напряжения ВЛ.

В отношении опасности поражения электрическим током согласно ПУЭ ОРУ 110 кВ, как территория размещения наружных электроустановок (ЭУ), приравнивается к особо опасным помещением. ЗРУ 10 кВ тоже является особо опасным помещением. Помещение ОПУ – без повышенной опасности.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности разрабатываются в соответствии с ГОСТ 12.1.019-79* ССБТ «Электробезопасность. Общие требования».

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме должны быть применены следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основная изоляция токоведущих частей:

В ОРУ 110 кВ изоляция токоведущих частей выполняется стеклянными изоляторами. Количество подвесных изоляторов ПС6-А в гирляндах для напряжения 110кВ - 8 штук. Изоляция токоведущих частей ЗРУ 10кВ осуществляется с помощью опорных изоляторов НШ-10, ОНШ-10. Кабели 10 кВ имеют пластмассовую изоляцию.

- ограждения и оболочки;

В ОРУ 110 кВ применяются два вида ограждения - внешнее и внутреннее. Внешнее ограждение имеет высоту 2,4 м. Внутреннее ограждение служит для выделения зон ОРУ, находящихся под высоким напряжением, и имеет высоту 1,6м. Ограждение установлено сетчатым, с сеткой 25х25 мм. Сетки имеют отверстия размером 15х15мм, а также приспособления для запирания их на замок.

- размещение вне зоны досягаемости;

Токоведущие части ОРУ 110 кВ не имеют внутренних ограждений, т.к. они расположены над уровнем планировки на высоте 3600 мм. Трансформаторы и аппараты 110кВ, у которых нижняя кромка фарфора изоляторов расположена над уровнем планировки на высоте 2500мм, не ограждаются. Неизолированные токоведущие части ЗРУ 10кВ защищены от случайных прикосновений, при расположении их на уровне менее 2500мм от пола, путем помещения их в камеры со сплошным металлическим ограждением толщиной не менее 1мм или ограждения сетками. Высота прохода под ограждением – 2м.

Расстояния от токоведущих частей до элементов ОРУ указаны в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Наименьшие расстояния в свету от токоведущих частей до различных элементов ОРУ (подстанций) в свету

Наименование расстояний	Изоляционное расстояние, мм, для напряжения, 110кВ
От токоведущих частей или от элементов оборудования и изоляции, находящихся под напряжением, до заземленных конструкций или постоянных внутренних ограждений высотой не менее 2 м	900
Между проводами разных фаз	1000
От токоведущих частей или от элементов оборудования и изоляции, находящихся под напряжением, до постоянных внутренних ограждений высотой 1,6 м, до габаритов транспортируемого оборудования	1650
Между токоведущими частями разных цепей в разных плоскостях при обслуживаемой нижней цепи и неотключенной верхней	1650
От неогражденных токоведущих частей до земли или до кровли зданий при наибольшем провисании проводов	3600
Между токоведущими частями разных цепей в разных плоскостях, а также между токоведущими частями разных цепей по горизонтали при обслуживании одной цепи и неотключенной другой, от токоведущих частей до верхней кромки внешнего забора, между токоведущими частями и зданиями или сооружениями	2900
От контакта и ножа разъединителя в отключенном положении до ошиновки, присоединенной ко второму контакту	1100

Расстояния от токоведущих частей до элементов ЗРУ указаны в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Наименьшие расстояния в свету от токоведущих частей до различных элементов ЗРУ

Наименование расстояний	Изоляционное расстояние, мм, для напряжения, 10кВ
От токоведущих частей до заземленных конструкций и частей зданий	120
Между проводниками разных фаз	130
От токоведущих частей до сплошных ограждений	150
От токоведущих частей до сетчатых ограждений	220
Между неогражденными токоведущими частями разных цепей	2000
От неогражденных токоведущих частей до пола	2500
От неогражденных выводов из ЗРУ до земли при выходе их не на территорию ОРУ и при отсутствии проезда под выводами	4500
От контакта и ножа разъединителя в отключенном положении до ошиновки, присоединенной ко второму контакту	150

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление.

Заземляющее устройство, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом с учетом сопротивления естественных и искусственных

заземлителей. Расчёт сопротивления заземляющего устройства приведён в главе 12.1.

- выравнивание потенциалов.

В целях выравнивания электрического потенциала и снижения напряжения прикосновения, обеспечения присоединения электрооборудования к заземлителю, на территории занятой оборудованием, прокладывается продольные и поперечные горизонтальные заземлители и соединяются между собой в заземляющую сетку.

- уравнивание потенциалов.

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, являются:

- оформление работ нарядом-допуском, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое рабочее место, окончания работы.

При подготовке рабочего места со снятием напряжения должны быть выполнены следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;

- наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где, они отсутствуют, установлены переносные заземления);
- вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

Распределительное устройство 10кВ оборудовано оперативной блокировкой, исключающей возможность:

- включения выключателей и разъединителей на заземляющие ножи;
- включения заземляющих ножей на ошиновку, не отделенную разъединителями от ошиновки, находящейся под напряжением;
- отключение и включение разъединителями токов нагрузки.

В ЭУ обеспечена возможность легкого распознания частей, относящихся к отдельным их элементам (простота и наглядность схем, надлежащее расположение ЭО, надписи, маркировка, расцветка).

Окраска шин и заземляющих ножей: при трехфазном переменном токе шины фазы "А" окрашиваются желтым цветом; фазы "В" - зеленым; фазы "С" - красным.

При разработке планировки ОРУ 110кВ предусмотрены дороги, обеспечивающие проезд к порталу для ревизии трансформаторов, к ЗРУ. Ширина проезжей части дороги 3 м.

Высота помещения ЗРУ - не менее высоты КРУ, считая от выступающих частей шкафов, плюс 0,8м до потолка и 0,3м до балок. Высота ячеек КРУ К-104М, устанавливаемых в ЗРУ - 2230мм; итого высота помещения 2230+800=3030мм. Габариты коридора обслуживания определяются исходя из следующего: для однорядного исполнения - длина тележки КРУ плюс не менее 0,6м; для двухрядного исполнения - длина тележки КРУ плюс 0,8м. Ширина проходов вдоль КРУ, а также вдоль стен РУ, имеющих двери или вентиляционные отверстия, не менее 1м.

Трансформаторы устанавливаются на фундамент из сборных железобетонных плит, укладываемых на щебёночно-песчаный балласт. При установке трансформатора 110/10кВ обеспечивается удобство обслуживания, устройство путей перекатки, соблюдение расстояния между трансформаторами. Расстояние в свету между открыто установленными трансформаторами не менее 5м. Трансформаторы установлены так, чтобы были обеспечены удобные и безопасные условия для наблюдения за уровнем масла в маслоуказателях без снятия напряжения. Для наблюдения за уровнем масла обеспечено освещение маслоуказателей в темное время суток, если общее освещение недостаточно. К газовым реле трансформатора обеспечен безопасный доступ для наблюдения и отбора проб газа без снятия напряжения. Для этого трансформатор снабжается стационарной лестницей.

Согласно СО 153-34.03.603-2003 «Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках» устанавливаются нормы комплектования электропомещений средствами защиты, приведённые в таблице 3.11.

Таблица 3.11 - Нормы комплектования средствами защиты

Наименование средства защиты	Количество
Изолирующая штанга (оперативная или универсальная)	2 шт. на напряжение 110кВ, 2 шт. на напряжение 10кВ
Указатель напряжения	2 шт. на напряжение 110кВ, 2 шт. на напряжение 10кВ
Диэлектрические перчатки	2 пары
Диэлектрические боты (для ОРУ)	1 пара
Переносные заземления	2 шт. на напряжение 110кВ, 2 шт. на напряжение 10кВ
Защитные ограждения (щиты)	2 шт.
Плакаты и знаки безопасности (переносные)	Комплект
Противогаз шланговый	2 шт.
Защитные очки	2 пары

3.4 Защита окружающей среды

Источниками загрязнения окружающей среды в процессе эксплуатации оборудования ГПП могут быть: возможность утечки трансформаторного масла в большом количестве и попадание его в водоемы, повышенный уровень шума (92,0 дБА) и излучение электромагнитных полей оборудованием 110 кВ (Е=0,34 кВ/м), бытовые и технологические отходы.

Строительная и санитарно-техническая часть электроустановок удовлетворяют требованиям действующих нормативных актов и директивных документов о запрещении загрязнения окружающей среды, вредного или мешающего влияния шума, электромагнитных полей согласно главе «Общие указания по устройству электроустановок» ПУЭ.

В электроустановках предусмотрены сбор и удаление отходов: химических веществ, масла, мусора, технических вод и т.п. В соответствии с действующими требованиями по охране окружающей среды исключена возможность попадания указанных отходов в водоемы, систему отвода ливневых вод, а также на территории, не предназначенные для этих отходов. Устройство маслоприемников для трансформаторов 110/10кВ для предотвращения растекания масла и распространения пожара при повреждении трансформаторов. Объем маслоприемника рассчитан на одновременный прием 100% масла, находящегося в корпусе трансформатора.

По СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов" устанавливаем санитарную зону 500 метров так как ГПП относится к предприятиям 2 класса. Санитарно-защитная зона для предприятий, имеющих санитарно-защитную зону 500 м и более - не менее 40% ее территории с обязательной организацией полосы древесно-кустарниковых насаждений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы разработан проект реконструкции понизительной подстанции завода производственного оборудования. Рассмотрена деятельность предприятия, состав и характеристики потребителей электроэнергии. Рассмотрены вопросы расчета электрических нагрузок цехов и завода в целом; выбора числа и мощности трансформаторов ГПП; компенсации реактивной мощности в сетях 0,4 кВ и 10 кВ; расчета токов короткого замыкания; выбора оборудования для новой ГПП.

По результатам расчёта электронагрузок предприятия выбран силовой трансформатор ГПП типа ТДН-16000/115 мощностью 16МВА. На основании результатов расчёта токов короткого замыкания выбрано оборудование ГПП. Произведён расчёт электронагрузок, выбор трансформаторов и схемы питания собственных нужд ГПП. Определены виды учета электроэнергии и предложены счетчики электрической энергии GCX для технического учета и СЭБ для коммерческого учета.

Рассмотрены вопросы экологичности и безопасности проекта. Проведен расчет защитного заземления ГПП и молниезащиты ГПП. Проведен анализ опасных и вредных факторов таких как шум, вибрация, электробезопасность, микроклимат и освещение. Рассмотрен вопрос защиты окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок. Главгосэнергонадзор РФ. М.: ЗАО «Энергосервис», 2002. 607 с.
2. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-220 кВ. – Министерство энергетики Российской Федерации, 2003
3. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для вузов. М.: Энергия. 1973. 584 с.
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Издание 15-е. - М.: Энергоатомиздат, 1996. - 288 с.
5. Артюхов, И. И. Электрооборудование электрических станций и подстанций/ И. И. Артюхов, В. Д. Куликов, В. В. Тютьманова; - Саратов: СГТУ, 2005. - 136с.
6. Афонин В.В. Силовые коммутационные аппараты: учебное пособие / В.В. Афонин, К.А. Набатов, Ж.А. Зарандия. - Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. - 100 с.
7. Басс Э.И. Релейная защита электроэнергетических систем. Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2002–295 с.
8. Баташов А.И. Проектирование электроэнергетических систем: Методические указания для дипломного проектирования. - Улан-Удэ: Издательство ВСГТУ, 2005. - 75 с.
9. Вайнштейн Р.А., Коломиец Н.В., Шестакова В.В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах: учебное пособие. - Томск : Изд-во ТПУ, 2006. - 118 с.
10. Вагин Г.Я. Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. Горький. ГПИ. 1986. 76 с.

11. Даценко В.А. Монтаж, ремонт и эксплуатация электрических распределительных сетей в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / В.А. Даценко, А.А. Сивков, Д.Ю. Герасимов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. - 132 с.
12. Дрозд В.Б. Справочник по электрическим сетям 0,4 - 35 кВ и 110 - 1150 кВ. Том 10.М.: Альвис, 2013. -816 стр.
13. Дрозд В.Б. Справочник по электрическим сетям 0,4 - 35 кВ и 110 - 1150 кВ. Том 14.М.: Альвис, 2013. -640 стр.
14. Дрозд В.Б. Справочник по электрическим сетям 0,4 - 35 кВ и 110 - 1150 кВ. Том 15.М.: Альвис, 2013. -800 стр.
15. Гайсаров, Р. В. Справочник по высоковольтному оборудованию электроустановок/ под ред.Р. В. Гайсарова. - Челябинск: ЮУрТУ, 2005. - 343с.
16. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Справочные материалы по расчету и проектированию систем электроснабжения объектов и установок: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. - Томск, 2005. - 160 с.
17. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч. 2. Расчет токов короткого замыкания в электроустановках до 1000 В: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 168 с.
18. Кабышев А.В. Молниезащита электроустановок систем электроснабжения: учебное пособие. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2006. - 124 с.
19. Коломиец, Н.В. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие / Н.В. Коломиец, Н.Р. Пономарчук, В.В. Шестакова; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во ТПУ, 2007. - 143 с.
20. Файбисович, Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей/ под ред. Д. Л. Файбисовича.- М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.-352с.

21. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат. 1984. 472 с.
22. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат. 1995. 416 с.
23. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. М.: Энергоатомиздат. 1990. 576 с.
24. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. М.: Энергоатомиздат. 1991. 464 с.
25. Шидловский А.К., Вагин Г.Я., Куренный Э.Г. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат. 1992. 224 с.
26. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учебное пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1989.-608 с.
27. Головкин Н.Н., Карпова Э.Л., Федоров О.В. Технико-экономические расчеты в дипломном проектировании. Учебное пособие. Н.Новгород, НГТУ, 1991.-104 с.
28. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введен с 01.01.99. ИПК издательство стандартов, 1998.
29. Защита электроустановок от прямых ударов молнии: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию / НГТУ; Сост.: Т.М.Щеголькова, Е.И.Татаров и др. Н.Новгород, 2001. – 11с.
30. Защитное заземление электроустановок: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию / НГТУ; Сост.: Т.М.Щеголькова, Е.И.Татаров и др. Н.Новгород, 2001. – 19с.

31. Методические указания к выполнению графической части курсовых и дипломных проектов / НГТУ; Сост.: Т.М.Щеголькова, Е.И.Татаров. Н.Новгород, 2002. – 33с.
32. Методические указания к выполнению графической части курсовых и дипломных проектов для студентов специальностей 1002 и 1004. Н.Новгород, НГТУ. 2002.
33. Стандарт предприятия. Проекты (работы) дипломные и курсовые. Общие требования к оформлению пояснительных записок и чертежей. – СТП I-У-НГТУ-88.
34. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств напряжением 35-750 кВ. Типовые решения. - М.: ОАО « Институт «Энергосеть проект»»,2007. - 132с.
35. Юриков, П. А. Защита электростанций и подстанций 3 - 500 кВ от прямых ударов молний/П. А. Юриков - М.: Энергоиздат, 1982. - 86с.
36. Алюнов А. ОНЛАЙН ЭЛЕКТРИК: Онлайн расчеты электрических систем. - СП.: 2008-2012. - Режим доступа: http://www.online-electric.ru
37. Энергетика Оборудование Документация. - М.: ЭнергоСовет. 2006-2012. - Режим доступа: http://forca.ru