

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение промышленного предприятия по производству электротехнической продукции

Студент

А.В. Кривушин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Тольятти 2021

Аннотация

В выпускной квалификационной работе, направленной на расчёт и проектирование системы электроснабжения предприятия по производству электротехнической продукции рассмотрены вопросы качественного и надёжного электроснабжения промышленного объекта.

Выполнен выбор и расчёт параметров электрооборудования для снабжения, передачи и распределения электрической энергии. Выбранное оборудование позволяет сэкономить и оптимизировать затраты на строительство объекта и производство качественной продукции в бесперебойном режиме, а также уменьшить простой оборудования и значительно снизить количество брака из-за некачественного питания предприятия или в случае аварии. Обеспечить надёжную защиту средств производства и оборудования, распределяющего электроэнергию.

Также одним из важнейших факторов проектирования является обеспечение безопасного труда работников. Для этого сделан расчёт системы освещения, выбраны оптимальные места установки цеховых подстанций и распределительных пунктов, выбрано местоположение главной понизительной подстанции.

Пояснительная записка состоит из 72 страниц, содержит 3 рисунка и 10 таблиц. Список используемых источников содержит 33 наименования, в том числе 5 на английском языке.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика объекта проектирования	6
2 Расчет электрических нагрузок цеха сборки сварочных трансформаторов ..	9
2.1 Выбор рода тока и напряжения.....	9
2.2 Выбор способа выполнения силовой сети цеха сборки сварочных трансформаторов	9
2.3 Расчёт электрических нагрузок цеха сборки сварочных трансформаторов	10
2.4 Расчёт освещения цеха сборки сварочных трансформаторов	22
2.5 Расчёт мощности компенсирующего устройства для цеховой подстанции цеха сборки сварочных трансформаторов.....	28
2.6 Выбор мощности силового трансформатора цеховой подстанции цеха сборки сварочных трансформаторов.....	29
2.7 Выбор аппаратов защиты и силовых сетей цеха сборки сварочных трансформаторов	31
3Расчёт электрических нагрузок по предприятию	36
3.1 Расчёт нагрузок цехов предприятия	36
3.2 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций. Выбор компенсирующих установок.....	41
4 Определение местоположения ГПП.....	47
5 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП	51
6 Расчёт токов короткого замыкания	53
7 Расчёт высоковольтного кабеля.....	57
8 Выбор основных конструктивных решений по ГПП	59
9 Выбор высоковольтного оборудования для ГПП на стороне 110кВ.....	60
10 Выбор оборудования на стороне 10кВ	64
Заключение	66
Список используемых источников.....	68

Введение

Электроэнергетическая отрасль является фундаментом в развитии промышленного производства. Строительство новых крупных и мелких промышленных предприятий невозможно без обеспечения качественного и надежного электроснабжения. Определение категорий надежности промышленных потребителей должно выполняться на стадии проектирования систем электроснабжения, так как эти особенности влияют на принимаемые проектные решения.

Большинство крупных промышленных потребителей, к которым относятся и предприятия по производству электротехнической продукции в своем составе будут иметь различных потребителей по категории надежности. Обычно вспомогательные цеха относятся к третьей категории надёжности электроснабжения, тогда как цеха основного производства чаще всего к первой или второй.

При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий необходимо уделять особое внимание современным проектным решениям и методикам выбора оборудования. Выбранное оборудования систем электроснабжения должно обеспечивать минимальный уровень потерь и высочайший уровень надежности.

Особое внимание необходимо уделять определению способов выполнения распределительной сети промышленного предприятия, так как от характера производства зависит тип используемых сетей, а также необходимо выбирать оптимальные мощности как силовых трансформаторов главных подстанций или подстанций глубокого ввода и распределительных трансформаторов. Поэтому разработка проектов направленных на проектирование систем электроснабжения крупных промышленных предприятий является актуальной[1].

При разработке проектов систем электроснабжения крупных промышленных предприятий немаловажную роль играет определение климатических особенностей местности размещения производства.

Климатические особенности могут оказывать существенное влияние на выбор климатического исполнения оборудования систем электроснабжения, расчет молниезащиты объектов крупного промышленного предприятия и т.д.[2].

Целью бакалаврской работы является разработка проекта электроснабжения крупного промышленного предприятия по производству электротехнической продукции.

Для достижения поставленной в бакалаврской работе цели необходимо решение следующих задач:

1. Выполнить описание проектируемого крупного промышленного предприятия по производству электротехнической продукции, которое должно включать в себя краткое описание технологического процесса, описание климата региона размещения крупного промышленного предприятия, описание цехов предприятия и определение состава высоковольтного оборудования предприятия.

2. Выбор оборудования системы электроснабжения крупного промышленного предприятия по производству электротехнической продукции, включая кабели распределительной сети, цеховые распределительные трансформаторы и необходимое коммутационное оборудование.

3. Выбор типа главной подстанции промышленного предприятия с выбором необходимого высоковольтного и силового оборудования.

При разработке проекта системы электроснабжения необходимо использовать только современные виды оборудования, а также современные и только действующие нормативно-технические акты, рекомендации, методики и стандарты. При разработке проекта системы электроснабжения крупного промышленного предприятия по производству электротехнической продукции будут использованы учебно-методические пособия и справочники для учебного проектирования.

1 Характеристика объекта проектирования

Сведения об установленной мощности электроприемников по цехам промышленного предприятия по производству электротехнической продукции приведены в таблице 1.

Таблица 1– Сведения об установленной мощности электроприемников по цехам промышленного предприятия

Наименование цеха	ΣP_n на напряжение 0,4 кВ, кВт	п., шт.
Сборочный корпус	6030	140
Ремонтно-механический цех	435	39
Сборочный цех №1	640	48
Цех сборки сварочных трансформаторов	–	–
Гальванический цех	5100	36
Деревообрабатывающий цех	441	25
Литейный цех	4091	127
Механический цех №1	2360	73
Обмоточный цех	1799	160
Штамповочный цех	2015	45
Механический цех №2	4760	50
Сборочный электроцех	1882	84
Автоматический цех	2814	187
Компрессорная	32	5
Склад №1	40	8
Корпус №1	730	51
Склад №2	10	7
Инструментальный цех	2053	37

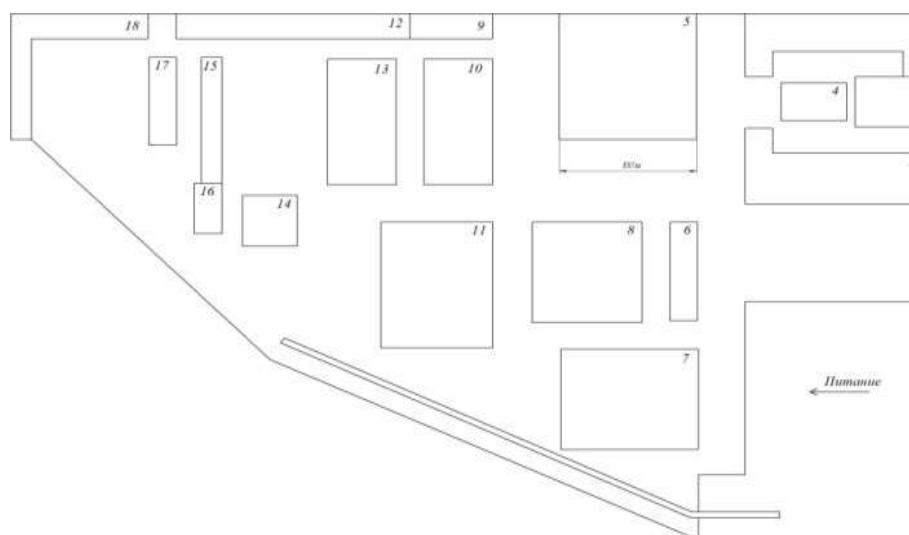


Рисунок 1–Общий план предприятия по производству электротехнической продукции

Таблица 2– Перечень высоковольтных электроприемников

Расстояние от ГПП предприятия до подстанции ЭСС, км	Существующие значения напряжений U_1 и U_2 на подстанции ЭСС, кВ	S_k , МВА при номинальном напряжении	
		U_1	U_2
14	35 и 110	100	1000

Мощность, расходуемая на собственные нужды ГПП $S_{сн} = 80$ кВА.

Цех сборки сварочных трансформаторов предназначен для изготовления, сборки и соединения заготовок сварочных трансформаторов в сварочные трансформаторы.

В цеху сборки сварочных трансформаторов предусмотрены работы различного назначения: полуавтоматическая сварка, резка, сушка, точная обработка и сборка деталей сварочного трансформатора в сварочный трансформатор.

Цех оборудован, как термическими, так металлообрабатывающими станками.

В цехе присутствуют электроприёмники второй категории надёжности электроснабжения.

Электроснабжение обеспечивается от цеховой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.

Каркас здания сооружён из блоков-секций длиной 6 и 12 м каждый.

Почва в месте проектирования суглинок.

Размеры цеха $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 8,5$ м.

Таблица 3 – Данные технологического оборудования

№ позиции оборудования	Наименование электроприёмника	Мощность электроприёмника	Количество электроприёмников
1	2	3	4

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
2	Установка плазменной руки ПВ = 45%	13кВА	1 шт
6	Радиально-сверлильный станок	9,8кВт	2 шт
18	Токарный станок	21 кВт	3 шт
19	Карусельно-фрезерный станок	8,2 кВт	5 шт
20	Ковочный молот	14,3 кВт	1 шт
21	Волочильный станок	10 кВт	1 шт
22	Очистной барабан	15 кВт	9 шт
23	Очистной барабан	7,5 кВт	2 шт
24	Пресс кривошипный	14,2 кВт	1 шт
25	Пресс однокривошипный	7,8 кВт	1 шт
26	Фрезерный станок	8,8 кВт	1 шт
27	Расточно-фрезерный станок	14,4 кВт	1 шт
28	Токарно-фрезерный станок	12 кВт	1 шт
29	Пресс однокривошипный	7,5 кВт	1 шт
30	Горизонтально-фрезерный станок	6,5 кВт	3 шт
31	Пресс 4-х кривошипный	55 кВт	1 шт
32	Сушильная камера	14,2 кВт	1 шт
36	Протяжно-вертикальный станок	15 кВт	1 шт
37	Расточный станок	3 кВт	2 шт
38	Сварочный полуавтомат	15 кВт	5 шт
39	Горизонтально-фрезерный станок	30 кВт	1 шт
40	Линия точной обработки валов	27 кВт	1 шт

Характеристика объекта проектирования даёт понять и определить критерии и условия, по которым, будут проводиться расчёты и проектироваться объекты расчётов исходя из условий данного раздела.

Выводы по разделу 1:

1. Представлено описание проектируемого промышленного предприятия и дана краткая характеристика мощностей оборудования
2. Представлен генеральный план предприятия и определён состав цехов согласно генеральному плану.

2 Расчет электрических нагрузок цеха сборки сварочных трансформаторов

2.1 Выбор рода тока и напряжения

В силовых электрических сетях промышленных предприятий, как правило, применяется трёхфазный переменный ток промышленной частоты в 50 Гц, а постоянный ток рекомендуется использовать лишь тогда, когда это необходимо, а также для плавного регулирования частоты вращения электродвигателей и работы цепей защиты, сигнализации и учёта.

Для питания внутрицехового оборудования, используем электрические сети с классом напряжения 380/220 В. Основным преимуществом данного класса напряжения, которое выбрали, является возможность совместного питания как силовых, так и осветительных электроприемников, причём от сети 380В будет питаться силовая нагрузка, а от сети 220 будет питаться осветительная нагрузка[33].

Для питания цеховых подстанций выбираем напряжение 10 кВ, которое лучше всего подходит по технико-экономическим характеристикам.

В цехе сборки сварочных трансформаторов преобладают электроприёмники малой мощности, поэтому более выгодно использовать напряжение классом 380/220 В, с переменным током промышленной частоты в 50 Гц.

2.2 Выбор способа выполнения силовой сети цеха сборки сварочных трансформаторов

Выбор схемы энергоснабжения производится с соблюдением специфики, конструкционных особенностей, расположение цеха, учётом других факторов, так чтобы обеспечить его работу в любых аварийных условиях. Всего существует три схемы электроснабжения.

Для цеха сборки сварочных трансформаторов выбрана смешенная схема электроснабжения, которая соответствует требованиям и специфики

цеха позволяя обеспечить высокую надёжность, которая осуществляется радиальными, через пункт распределительный ПР-1, и магистральными участками, через распределительные шинопровода ШРА1, ШРА2, ШРА3, ШРА4 и ШРА5, что обеспечивает высокую надёжность электроснабжения. Также данный выбор обусловлен конструктивными особенностями цеха, так как для безопасного передвижения рабочих и техники распределительное оборудование следует располагать так, чтобы исключить любые случайные контакты, даже при аварии.

2.3 Расчёт электрических нагрузок цеха сборки сварочных трансформаторов

Для выполнения расчёта нагрузок был выбран метод коэффициента максимума. Расчёт нагрузок методом коэффициента максимума принято начинать с распределения электроприёмников по группам подключения к распределительному устройству. Все полученные данные заносятся в таблицу нагрузок (таблица 4). Запись производится по натуральному ряду чисел, позиции оборудования в одну сторону записывается одна позиция, количество и суммарная мощность одинаковых электроприёмников.

Расчёт группы токарных станков

Номинальная мощность группы однотипных электроприёмников $P_{\text{ном.гр.18}}$, кВт:

$$P_{\text{ном.гр.п}} = n_{\text{п}} \cdot P_{\text{ном.п}}, \text{ кВт} \quad (1)$$

где n – количество электроприёмников в группе;

$P_{\text{ном.п}}$ – единичная номинальная мощность электроприёмников, кВт.

$$P_{\text{ном.гр.18}} = 21 \cdot 3 = 63 \text{ кВт}$$

Коэффициент использования, соответствующий данной группе оборудования $K_{и.18} = 0,14$.

Коэффициент мощности, соответствующий данной группе оборудования $\cos\varphi_{18} = 0,5$.

Тангенс потерь $\operatorname{tg}\varphi_{18} = 1,73$, соответствующий коэффициенту мощности $\cos\varphi_{18}$.

Среднесменная активная мощность $P_{см.18}$, кВт:

$$P_{см.п} = P_{ном.гр.п} \cdot K_{и.п}, \text{ кВт} \quad (2)$$
$$P_{см.гр.18} = 63 \cdot 0,14 = 8,82 \text{ кВт}$$

Среднесменная реактивная мощность $Q_{см.18}$, , квар:

$$Q_{см.п} = P_{см.п} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{п}, \text{ , квар} \quad (3)$$
$$Q_{см.18} = 8,82 \cdot 1,73 = 15,259 \text{ , квар}$$

Расчёт для остальных групп электроприёмников произведён аналогичным образом.

Расчёт распределительного шинопровода ШРА1.

Количество электроприёмников в шинопровode ШРА1 $n_{шра1}$, шт:

$$n_{шра.п} = \sum_1^n n_n, \text{ шт} \quad (4)$$
$$n_{шра1} = 3 + 5 + 1 = 9 \text{ шт}$$

Суммарная номинальная мощность групп электроприёмников $P_{ном.шра1}$, кВт:

$$P_{\text{НОМ.шра.н}} = \sum_1^n P_{\text{НОМ.гр.}}, \text{кВт} \quad (5)$$

$$P_{\text{НОМ.шра1}} = \sum_1^3 63 + 41 + 27 = 131 \text{ кВт}$$

Суммарная среднесменная активная мощность $P_{\text{см.шра1}}$, кВт:

$$P_{\text{см.шра.н}} = \sum_1^n P_{\text{см.н}}, \text{кВт} \quad (6)$$

$$P_{\text{см.шра1}} = \sum_1^3 8,82 + 5,74 + 3,78 = 18,34 \text{ кВт}$$

Суммарная среднесменная реактивная мощность $Q_{\text{см.шра1}}$, квар:

$$Q_{\text{см.шра.н}} = \sum_1^n Q_{\text{см.}}, \text{кВаАр} \quad (7)$$

$$Q_{\text{см.шра1}} = \sum_1^3 15,259 + 9,93 + 6,54 = 31,729, \text{ квар}$$

Модуль силовой сборки m :

$$m = \frac{P_{\text{НОМ.макс.н}}}{P_{\text{НОМ.мин.н}}} \quad (8)$$

где $P_{\text{НОМ.макс.н}}$ – наибольший по мощности электроприёмник, кВт;

$P_{\text{НОМ.мин.н}}$ – наименьший по мощности электроприёмник, кВт.

$$m = \frac{27}{8,2} = 3,293$$

Средневзвешенный коэффициент использования $K_{\text{и.шра1}}$:

$$K_{и.шра.n} = \frac{P_{см.шра.n}}{P_{ном.шра.n}} \quad (9)$$

$$K_{и.шра.1} = \frac{18,34}{131} = 0,14$$

Средневзвешенный тангенс потерь $tg\varphi_{шра1}$:

$$tg\varphi_{шра.n} = \frac{Q_{см.шра.n}}{P_{см.шра.n}} \quad (10)$$

$$tg\varphi_{шра1} = \frac{31,729}{18,34} = 1,73$$

Средневзвешенный коэффициент мощности $\cos\varphi_{шра1} = 0,5$
соответствующий тангенсу потерь $tg\varphi_{шра1}$.

Эффективное число электроприёмников $n_э$:

$$n_э = n_{э*} \cdot n \quad (11)$$

$$n_{э*} = f(P_*; n_*)$$

где n_* – относительное число электроприёмников.

$$n_* = \frac{n'}{n} \quad (12)$$

где n' – количество электроприёмников соответствующие по мощности;

P' – мощность электроприёмников по количеству n' .

$$n' = \frac{P'}{2}$$

$$n' = \frac{27}{2} = 13,5$$

$$n_* = \frac{4}{9} = 0,44$$

$$P' = 63 + 27 = 104$$

$$P_* = \frac{P'}{P_{\text{ном}}} \quad (13)$$

$$P_* = \frac{104}{131} = 0,687$$

$$n_{\varepsilon_*} = 0,7$$

$$n_{\varepsilon} = 0,7 \cdot 9 = 6,3 \approx 6$$

Коэффициент максимума $K_{\text{макс.шра1}} = 2,64$.

Максимальная активная мощность $P_{\text{макс.шра1}}$, кВт:

$$P_{\text{макс.шра.п}} = P_{\text{см.шра.п}} \cdot K_{\text{макс.шра.п}}, \text{ кВт} \quad (14)$$

$$P_{\text{макс.шра1}} = 18,34 \cdot 2,64 = 48,418 \text{ кВт}$$

Максимальная реактивная мощность $Q_{\text{макс.шра1}}$, квар:

$$n \leq 10$$

$$Q_{\text{макс.шра1}} = 1,1 \cdot 31,729 = 34,902, \text{ квар}$$

Максимальная полная мощность $S_{\text{макс.шра1}}$, кВА:

$$S_{\text{макс.шра.п}} = \sqrt{P_{\text{макс.шра.п}}^2 + Q_{\text{макс.шра.п}}^2}, \text{ кВА} \quad (15)$$

$$S_{\text{макс.шра1}} = \sqrt{48,418^2 + 34,902^2} = 59,686 \text{ кВА}$$

Максимальный ток $I_{\text{макс.шра1}}$, А:

$$I_{\text{макс.шра.п}} = \frac{S_{\text{макс.шра.п}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \text{ А} \quad (16)$$

где $U_{\text{ном}}$ – линейное напряжение внутрицеховой сети, В.

$$I_{\text{макс.шра1}} = \frac{59686}{\sqrt{3} \cdot 380} = 91 \text{ А}$$

Расчёт шинопроводов ШРА2, ШРА3, ШРА4, ШРА5 и ПР1 произведены аналогично.

Расчёт магистрального шинопровода ШМА1, расчёт магистрального шинопровода производится аналогично расчёту распределительного шинопровода, за тем исключением, что для расчёта берутся данные распределительных шинопроводов и других нагрузок, подключённых к ШМА1.

Количество электроприёмников в шинопроводе ШРА1 $n_{\text{шра1}}$, шт.:

$$n_{\text{шма1}} = 9 + 8 + 7 + 5 + 16 = 45 \text{ шт}$$

Суммарная номинальная мощность групп электроприёмников $P_{\text{ном.шма1}}$, кВт:

$$P_{\text{ном.шма1}} = \sum_1^5 131 + 121,8 + 96,7 + 50,5 + 209,532 = 609,532 \text{ кВт}$$

Суммарная среднесменная активная мощность $P_{\text{см.шма1}}$, кВт:

$$P_{\text{см.шма1}} = \sum_1^5 18,34 + 22,56 + 18,914 + 7,529 + 56,682 = 124,025 \text{ кВт}$$

Суммарная среднесменная реактивная мощность $Q_{\text{см.шма1}}$, квар:

$$Q_{\text{см.шма1}} = \sum_1^5 31,729 + 28,563 + 21,94 + 11,553 + +76,365 = 170,18, \text{ квар}$$

Модуль силовой сборки m :

$$m = \frac{55}{3} = 18,333$$

Средневзвешенный коэффициент использования $K_{\text{и.шма1}}$:

$$K_{\text{и.шма1}} = \frac{124,025}{609,532} = 0,204$$

Средневзвешенный тангенс потерь $\text{tg}\varphi_{\text{шма1}}$:

$$\text{tg}\varphi_{\text{шма1}} = \frac{170,18}{124,025} = 1,372$$

Средневзвешенный коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{шма1}} = 0,59$
соответствующий тангенсу потерь $\text{tg}\varphi_{\text{шма1}}$.

Эффективное число электроприёмников $n_э$:

$$n_э = \frac{2 \sum_1^{45} 609,532}{55} = 22 \text{ шт}$$

Коэффициент максимума $K_{\text{макс.шма1}} = 1,5$.

Максимальная активная мощность $P_{\text{макс.шма1}}$, кВт:

$$P_{\text{макс.шма1}} = 124,025 \cdot 1,5 = 186,038 \text{ кВт}$$

Максимальная реактивная мощность $Q_{\text{макс.шма1}}$, квар:

$$\begin{aligned}n &> 10 \\ Q_{\text{макс.шма1}} &= Q_{\text{см.шма1}} \\ Q_{\text{макс.шма1}} &= 170,18, \text{ квар}\end{aligned}\tag{17}$$

Максимальная полная мощность $S_{\text{макс.шма1}}$, кВА:

$$S_{\text{макс.шма1}} = \sqrt{124,025^2 + 170,18^2} = 252,133 \text{ кВА}$$

Максимальный ток шинпровода $I_{\text{макс.шма1}}$, А:

$$I_{\text{макс.шма1}} = \frac{252133}{\sqrt{3} \cdot 380} = 383 \text{ А}$$

Результаты занесены в таблицу 4.

Таблица 4– Таблица нагрузок

Позиция электроприемников	Количество электроприемников	Установленная мощность приведения к ПВ = 100%		Отношение $\frac{P_{ном, макс}}{P_{ном, макс}} = m$	Коэффициент использования $K_{и}$	$\frac{\cos \varphi}{\text{tg } \varphi}$	Средняя нагрузка за максимальную нагруженную смену		Эффективное число электроприемников _э	Коэффициент максимума $K_{макс}$	Максимальная мощность			Макси-мальный ток $I_{макс}, А$
		Одного электроприемников $P_{ном}, кВт$	Общая рабочих/резервных $P_{ном}, кВт$				$P_{см}, кВт$	$Q_{см}, квар$			$P_{макс}, кВт$	$Q_{макс}, квар$	$S_{макс}, кВА$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
19	3	21	63	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	8,82	15,259	–	–	–	–	–	–
40	5	8,2	41	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	5,74	9,93	–	–	–	–	–	–
ШРА-1	1	27	27	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	3,78	6,54	–	–	–	–	–	–
20	9	–	131	3,293	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	18,34	31,729	6	2,64	48,418	34,902	59,686	91
21	1	14,3	14,3	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	2,86	3,3176	–	–	–	–	–	–
22	1	10	10	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	2	2,32	–	–	–	–	–	–
23	4	15	60	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	12	13,92	–	–	–	–	–	–
39	1	7,5	7,5	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	1,5	1,74	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШПА-2	1	30	30	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	4,2	7,266	–	–	–	–	–	–
22	8	–	121,8	4	0,185	$\frac{0,62}{1,266}$	22,56	28,5636	7	2,1	47,376	31,42	56,848	86
23	5	15	75	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	15	17,4	–	–	–	–	–	–
24	1	7,5	7,5	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	1,5	1,74	–	–	–	–	–	–
ШПА-3	1	14,2	14,2	–	0,17	$\frac{0,65}{1,16}$	2,414	2,8	–	–	–	–	–	–
25	7		96,7	2	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	18,914	21,94	7	2,1	39,711	24,134	46,47	71
26	1	7,8	7,8	–	0,17	$\frac{0,65}{1,16}$	1,326	1,538	–	–	–	–	–	–
27	1	8,8	8,8	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	1,232	2,134	–	–	–	–	–	–
28	1	14,4	14,4	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	2,016	3,492	–	–	–	–	–	–
29	1	12	12	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	1,68	2,91	–	–	–	–	–	–
ШПА-4	1	7,5	7,5	–	0,17	$\frac{0,65}{1,16}$	1,275	1,479	–	–	–	–	–	–
6	5		50,5	1,92	0,15	$\frac{0,546}{1,535}$	7,529	11,553	–	–	45,45	12,708	47,193	72
30	2	9,8	19,6	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	2,744	4,753	–	–	–	–	–	–
36	3	6,5	19,5	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	2,73	4,728	–	–	–	–	–	–
37	1	15	15	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	2,1	3,637	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ПР-1	2	3	6	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	0,84	1,455	–	–	–	–	–	–
2	8	–	60,1	5	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	8,414	14,573	7	2,48	20,867	16,03	26,314	40
31	1	$\frac{5,232}{13}$	5,232	–	0,25	$\frac{0,6}{1,333}$	1,308	1,744	–	–	–	–	–	–
32	1	55	55	–	0,17	$\frac{0,65}{1,16}$	9,35	10,846	–	–	–	–	–	–
38	1	14,2	14,2	–	0,8	$\frac{0,95}{0,329}$	11,36	3,737	–	–	–	–	–	–
ШРА-5	5	15	75	–	0,35	$\frac{0,5}{1,732}$	26,25	45,465	–	–	–	–	–	–
ШМА	16	–	209,532	18,333	0,271	$\frac{0,6}{1,347}$	56,682	76,365	8	1,72	97,493	84,002	128,69	196
Освещение	45	–	609,532	18,333	0,204	$\frac{0,59}{1,372}$	124,025	170,18	22	1,5	186,038	170,18	252,133	383
Итого с освещением	60	0,7	42	–	0,95	$\frac{0,95}{0,33}$	43,89	14,484	–	–	43,89	14,484	46,22	170,6
Компенсация	45	-	651,532	-	0,258	$\frac{0,673}{1,1}$	167,915	184,664	–	–	229,928	184,664	294,903	448
Итого с компенсацией	–	–	–	–	–	–	–	-112,5	–	–	–	–	–	–
–	45	–	651,532	–	0,258	$\frac{0,92}{0,43}$	167,915	72,164	–	–	229,928	72,164	240,987	366

2.4 Расчёт освещения цеха сборки сварочных трансформаторов

Условия искусственного освещения на рабочем месте работника оказывают большое влияние на зрительную работоспособность, физическое и моральное здоровье сотрудников, а следовательно, сказывается, на производительность труда сотрудников, качестве продукции и производственном травматизме.

Освещение выполняет важную роль и влияет на физиологическую функцию, содействующую появлению благоприятного психического состояния работников. С выполнением качественного освещения увеличивается работоспособность, эффективность труда, снижается усталость и вероятность того, что сотрудники произведут некачественный продукт производства, травматизма, аварийности. Недостаточное освещение приводит к проблемам зрительных функций организма, к общему утомлению работника. В результате снижается его внимательность, падает координация движений, что может привести при выполнении физической работы к несчастному случаю на производстве. Также, работа при низкой освещенности увеличивает шанс развития таких профессиональных заболеваний как, близорукость и других заболеваний, а также расстройству нервной системы трудящихся. Повышенная освещенность влечёт за собой достаточно неблагоприятные последствия для самочувствия и зрения трудящегося, вызывая, в первую очередь, слепящий эффект из-за, которого есть вероятность не увидеть важные объекты и попасть под действие электрического тока или другие факторы производства [31].

Светотехнический расчёт.

Высота подвеса над освещаемой поверхностью H_p , м:

$$H_p = H - (h_p + h_c) \text{ м} \quad (18)$$

$$H_p = 8,5 - (0,8 + 1,7) = 6 \text{ м}$$

где h_p – высота рабочего места равная 0,8 м;

h_c – высота подвеса равная 1,7 м.

Расстояние между рядами светильников L_A , м:

$$L_A = H_p \cdot \lambda \text{ м} \quad (19)$$

где λ – коэффициент равный 0,8.

$$L_A = 6 \cdot 0,8 = 4,8 \text{ м}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены l_A , м:

$$l_A = 0,5 \cdot L_A \text{ м} \quad (20)$$

$$l_A = 0,5 \cdot 4,8 = 2,4 \text{ м}$$

Число рядов светильников по ширине N_A , шт:

$$N_A = \frac{A - 2l_A}{L_A} + 1 \text{ шт} \quad (21)$$

$$N_A = \frac{48 - 2 \cdot 2,4}{4,8} + 1 = 10 \text{ шт}$$

Принято расстояние между светильниками 4,8 м и расстояние от крайнего ряда светильников до стены 2,4 м.

Расстояние между рядами светильников L_B , м:

$$L_B = H_p \cdot \lambda, \text{ м} \quad (22)$$

где λ – коэффициент равный 0,833.

$$L_B = 6 \cdot 0,833 \approx 5 \text{ м}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены l_B , м:

$$l_B = 0,5 \cdot L_{BM} \quad (23)$$

$$l_B = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ м}$$

Число рядов светильников по ширине N_B , шт:

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L_B} + 1 \text{ шт} \quad (24)$$

$$N_B = \frac{30 - 2 \cdot 2,5}{5} + 1 = 6 \text{ шт}$$

Принято расстояние между светильниками 5 м и расстояние от крайнего ряда светильников до стены 2,5 м.

Общее число светильников необходимых для цеховой площади $N_{\text{общ}}$, шт:

$$N_{\text{общ}} = N_A \cdot N_B \text{ шт} \quad (25)$$

$$N_{\text{общ}} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ шт}$$

Расчётное значение светового потока $\Phi_{p.}$, лм:

$$\Phi_{p.} = \frac{A \cdot B \cdot E \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{общ}} \cdot \eta} \text{ лм} \quad (26)$$

где E – нормируемая освещенность равная 300 лк;

K_3 – коэффициент запаса равный 1,5;

Z – коэффициент усредняющий освещённость равный 1,5;

η – КПД лампы равный 0,7.

$$\Phi_{p.} = \frac{48 \cdot 30 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 1,5}{60 \cdot 0,7} = 27771 \text{ лм}$$

Предварительно к установке выбран светильник РО42-700-02 Квант мощностью 700Вт со световым потоком 40000 лм.

Расчётное значение нормируемой освещенности E_p , лк:

$$E_p = \frac{\Phi_l \cdot P_l}{\Phi_p} \text{ лк} \quad (27)$$

$$E_p = \frac{40000 \cdot 300}{27771} = 432,105 \text{ лк}$$

Проверка коэффициента запаса K_3 :

$$K_3 = \frac{E_p}{E_n} \quad (28)$$

$$K_3 = \frac{442,908}{300} = 1,44$$

Окончательно к установке выбран светильник РО42-700-02 Квант мощность 700 Вт и световым потоком 40000лм.

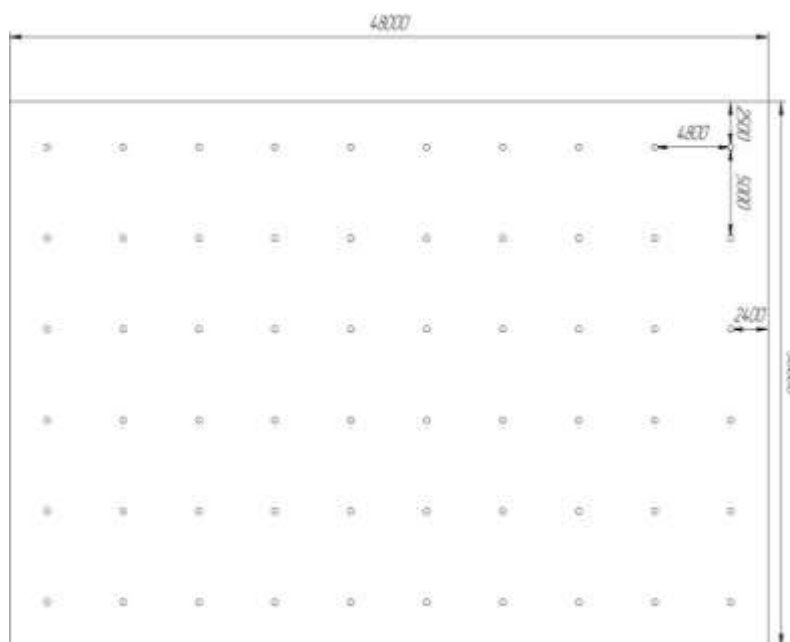


Рисунок 2 – Эскиз расположения осветительных приборов

Электрический расчёт освещения.

Активная мощность осветительной нагрузки $P_{осв}$, кВт:

$$P_{осв} = P_{л} \cdot N_{общ} \cdot K_{и} \cdot K_{пра} \text{ кВт} \quad (29)$$

где $K_{и}$ – коэффициент использования равный 0,95;

$K_{пра}$ – коэффициент пускорегулирующей аппаратуры равный 1,1.

$$P_{осв} = 700 \cdot 60 \cdot 0,95 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} = 43,89 \text{ кВт}$$

Реактивная мощность осветительной нагрузки $Q_{осв}$, квар:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ квар} \quad (30)$$

где $\text{tg}\varphi$ – с учётом компенсации равен 0,33.

$$Q_{осв} = 43,89 \cdot 0,33 = 14,484, \text{ квар}$$

Полная мощность осветительной нагрузки $S_{осв}$, кВА:

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2} \text{ кВА} \quad (31)$$

$$S_{осв} = \sqrt{43,89^2 + 14,484^2} = 46,218 \text{ кВА}$$

Максимальный ток освещения $I_{осв}$, А:

$$I_{осв} = \frac{S_{осв} \cdot K_{пуск}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \text{ А} \quad (32)$$

где $K_{пуск}$ – коэффициент пуска равный 1,4.

$$I_{осв} = \frac{46218 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 220} = 170 \text{ А}$$

Выбор защитной аппаратуры.

Номинальный ток теплового расцепителя $I_{Т.р.осв.}, A$:

$$I_{Т.р.осв.} = 1,15 \cdot I_{осв.}, A \quad (33)$$
$$I_{Т.р.осв.} = 1,15 \cdot 170 = 195,5 A$$

Пусковой ток электроприёмника $I_{пуск.осв.}, A$:

$$I_{пуск.осв.} = I_{осв.} \cdot K_{п}, A \quad (34)$$
$$I_{пуск.осв.} = 170 \cdot 5 = 850 A$$

Ток электромагнитного расцепителя $I_{эмр.}, A$:

$$I_{эмр.осв.} = I_{пуск.осв.} \cdot 1,25, A \quad (35)$$
$$I_{эмр.осв.} = 850 \cdot 1,25 = 1062,5 A$$

Выбран автоматический выключатель типа ВА51-35 с $I_{на} = 250 A$.

$$I_{Т.р.} = 200 A, I_{эмр.} = 2500 A$$

Выбор сечения токоведущей жилы кабеля $S, мм^2$:

$$S = 95 мм^2 \text{ с } I_{доп.} = 200 A > I_{ном} = 170 A$$

Питание осветительной сети выполнено кабелем марки АВВГ $5 \times 95 мм^2$ с $I_{доп.} = 200 A > I_{ном} = 170 A$ с алюминиевыми жилами.

2.5 Расчёт мощности компенсирующего устройства для цеховой подстанции цеха сборки сварочных трансформаторов

Из-за условий потребления энергоресурсов инфраструктурой промышленных предприятий компенсация реактивной мощности является одним из важнейших факторов экономии при эксплуатации распределительных сетей и одновременно на улучшение качества напряжения. На промышленных объектах экономия электроэнергии заключается в эффективном её использовании, что обусловлено качественной работой отдельных промышленных систем и технологических установок[32].

Компенсаторы реактивной мощности дают возможность ощутимо снизить затраты на электроэнергию. Конденсаторные установки реактивной мощности получили широкое распространение, из-за своих преимуществ по сравнению с альтернативным и известными методами компенсации (широкий диапазон выбора используемой мощности, лёгкость эксплуатации и монтажа, тихая работа, возможность монтажа на различных объектах электрической сети и многое другое).

Чтобы правильно выбрать компенсирующее устройство для электрической нагрузки и трансформаторов необходимо учитывать различные параметры и состояние энергосистемы предприятия. Это даёт возможность наиболее качественно подобрать компенсирующую установку а, следовательно, обеспечить ее качественную и долгосрочную работу.

Номинальная реактивная мощность установки $Q_{к.р.}$, квар:

$$Q_{к.р.} = P_{см} \cdot \alpha \cdot (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_1),, \text{ квар} \quad (36)$$

где α – коэффициент учитывающий повышение равный 0,9;

$\operatorname{tg}\varphi_1$ – рекомендуемое значение тангенса равное 0,42.

$$Q_{к.р.} = 167,915 \cdot 0,9 \cdot (1,1 - 0,42) = 102,764, \text{ квар}$$

Предварительно выбрана компенсирующая установка типа УКЛ(П)57-10,5-112,5 с номинальной реактивной мощностью 112,5 ,квар.

Проверка на фактический $\text{tg}\varphi$:

$$\text{tg}\varphi = \text{tg}\varphi - \frac{Q_{\text{к.р.}}}{P_{\text{см}} \cdot \alpha} \quad (37)$$
$$\text{tg}\varphi = 1,1 - \frac{112,5}{167,915 \cdot 0,9} = 0,359$$

Фактический $\text{tg}\varphi = 0,359$ соответствует $\cos\varphi = 0,941$

Окончательно выбрана компенсирующая установка типа УКЛ(П)57-10,5-112,5 [18]. С номинальной реактивной мощностью 112,5, квар.

2.6 Выбор мощности силового трансформатора цеховой подстанции цеха сборки сварочных трансформаторов

Силовые трансформаторы являются важной частью систем электроснабжения и используются повсеместно, включая промышленность, муниципальное и сельское хозяйство, отдельные фирмы, организации, учреждения. Бесперебойность электроснабжения и эффективность работы электрооборудования сильно зависит от выбора вида и мощности силовых трансформаторов. Будущая эксплуатация и возможность модернизации показывают правильность такого выбора.

Зачастую, в системах электроснабжения используются одно и двухтрансформаторные подстанции (количество трансформаторов зависит от категории надёжности потребителя).

Среднесменная полная мощность $S_{\text{см}}$, кВА:

$$S_{\text{см}} = \sqrt{P_{\text{см}}^2 + Q_{\text{см}}^2} \text{кВА} \quad (38)$$

$$S_{\text{см}} = \sqrt{167,915^2 + 72,164^2} = 182,77 \text{ кВА}$$

Коэффициент заполнения графика $K_{3.г.}$:

$$K_{3.г.} = \frac{S_{\text{см}}}{S_{\text{max}}} \quad (39)$$
$$K_{3.г.} = \frac{182,77}{240,987} = 0,76$$

Коэффициент кратности нагрузки $K_{\text{н}}$:

$$K_{\text{н}} = f(K_{3.г.}, t) \quad (40)$$
$$K_{\text{н}} = 1,15$$

Расчёт мощности трансформатора $S_{\text{р.тр.}}$, кВА:

$$S_{\text{р.тр.}} = \frac{S_{\text{max}}}{K_{\text{н}}} \text{ кВА} \quad (41)$$
$$S_{\text{р.тр.}} = \frac{240,987}{1,15} = 209,554 \text{ кВА}$$

Выбрана КТП типа КТП400-10/0,4 с трансформатором ТСЗ 400-10/0,4 с номинальной полной мощностью трансформатора $S_{\text{н.тр.}} = 400 \text{ кВА}$.

Коэффициент загрузки трансформатора $K_{3.}$:

$$K_{3.} = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{н.тр.}}} \quad (42)$$
$$K_{3.} = \frac{240,987}{400} = 0,602$$

Технические характеристики трансформатора типа ТСЗ 400-10/0,4: трансформатор сухой закрытый [20]; номинальное первичное напряжение $U_{1ном} = 10$ кВ; номинальное вторичное напряжение $U_{2ном} = 0,4$ кВ; номинальная мощность $S_{ном} = 400$ кВА; напряжение короткого замыкания $U_k = 4,5$ %; схема и группа соединения обмоток У/Ун-0.

Установленная мощность трансформатора в аварийном режиме при необходимости обеспечить электроснабжение 2-й категорий в период максимума с допускаемой нагрузкой, равной 140%.

$$1,4 \cdot S_{ном} = 1,4 \cdot 400 = 560 \text{ кВА} > 0,75 \cdot S_{max} = 0,75 \cdot 240,987 = 180,74 \text{ кВА}$$

Окончательно к установке выбрана однострансформаторная подстанция типа КТП 400-10/0,4 с трансформатором типа ТСЗ 400-10/0,4[20], который обеспечивает электроснабжение цеха, как в нормальном, так и в аварийном режиме.

2.7 Выбор аппаратов защиты и силовых сетей цеха сборки сварочных трансформаторов

Аппараты защиты предназначены для сокращения воздействия токов короткого замыкания и перегрузки, т. е. для защиты оборудования от опасных последствий этих процессов. Наибольшее распространение получили аппараты защиты в виде плавких предохранителей и автоматических выключателей.

По принципу автоматического срабатывания автоматы делят на два вида: автоматы с электромагнитным расцепителем и с тепловым расцепителем.

Автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем используются для защиты электроустановок от последствий коротких замыканий.

Автоматические выключатели с тепловым расцепителем применяются для защиты электроустановок от токов перегрузок. При перегрузке цепи биметаллическая пластина нагревается и, изменяет форму, высвобождает зацеп, что и вызывает отключение расцепителя[9].

Расчёт группы сварочных полуавтоматов.

Номинальный ток электроприёмника $I_{ном38}$, А:

$$I_{ном38} = \frac{P_{ном38}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi_{38} \cdot \eta_{38}}, \text{ А} \quad (43)$$
$$I_{ном38} = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,82} = 31 \text{ А}$$

Пусковой ток электроприёмника $I_{пуск38}$, А:

$$I_{пуск38} = 31 \cdot 5 = 155 \text{ А}$$

Ток плавкой вставки $I_{пл.в.38}$, А:

$$I_{пл.в.38} = \frac{I_{пуск38}}{\alpha} \text{ А}, \quad (44)$$

где -коэффициент пускового тока $\alpha = 2,5$

$$I_{пл.в.38} = \frac{155}{2,5} = 62 \text{ А}$$

Выбран предохранитель типа ПР-2 с $I_{на} = 100 \text{ А}$, $I_{пл.в} = 80 \text{ А}$.

Выбор сечения токоведущей жилы кабеля S , мм²:

$$S = 6 \text{ мм}^2 \text{ с } I_{доп.} = 40 \text{ А} > I_{ном} = 31 \text{ А}$$

Подключение электроприёмника выполнено кабелем с медной жилой ВВГ 4(1×6) с $I_{\text{доп.}} = 40 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 31 \text{ А}$

Расчёт аппаратов защиты и выбор питающих линий для остального технологического оборудования произведёт аналогично с расчётом, приведенным в разделе 2.4, результаты расчётов занесены в таблицу 5.

Выводы по разделу 2:

1. Проведён выбор рода тока и напряжения, выбрано переменное напряжение величиной 220/380 В и частотой 50 Гц

2. Проведён выбор способа выполнения силовой сети цеха, выбранная смешанная схема исполнения

3. Выполнен расчёт электрических нагрузок, полная максимальная мощность, требуемая для работы электроприёмников равна 240,987 ВА

4. Выполнен расчёт освещения, по результатам расчёта выбраны светильники типа РО42-700-02 Квант, который позволяет обеспечить требуемый уровень освещённости мощностью 700 Вт, в количестве 60 штук

5. Выполнен расчёт мощности компенсирующего устройства, выбрано компенсирующее устройство типа УКЛ(П)57-10,5-112,5 с мощностью 112,5, квар

6. Выполнен расчёт и выбор силового трансформатора, выбран ТСЗ 400-10/0,4, который обеспечивает надёжное питание электроприёмников

7. Выполнен расчёт и выбор аппаратов защиты силовых сетей цеха, защитное оборудование устанавливается в цеху для защиты электроприёмников и располагается в шкафах защиты.

Таблица 5– Монтажная таблица

Позиция Оборудования	Наименование оборудования	Количество электроприемников в группе	Номинальная мощность единичного электроприемника $P_{ном}$, кВт	Номинальный ток электроприемника $I_{ном}$, А	Пусковой ток электроприемника $I_{пуск}$, А	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{тр}$, А		Номинальный ток электромагнитного расцепителя $I_{эмр}$, А		Номинальный ток плавкой вставки $I_{пв}$, А		Номинальный ток аппарата $I_{ар}$, А	Аппарат защиты	Марка и сечение провода, кабеля	Допустимый ток выбранного сечения $I_{доп}$, А
						Расчетное значение	Стандартное значение	Расчетное значение	Стандартное значение	Расчетное значение	Стандартное значение				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
18	Токарный станок	3	21	43,233	216,2	49,72	50	270,25	630	–	–	63	ВА51-29	ВВГ4х10	50
19	Карусельно-фрезерный станок	5	8,2	17	85	19,55	25	106,25	250	–	–	25	ВА51-25	ВВГ4х2,5	25
40	Линия точной обработки валов	1	27	56	280	64,4	80	350	1000	–	–	100	ВА51Г-31	ВВГ4х16	75
20	Ковочный молот	1	14,3	29,4	147,2	34	40	184	630	–	–	63	ВА51-29	ВВГ4х4	30
21	Волочильный станок	1	10	21	105	24,15	40	131,25	630	–	–	63	ВА51-29	ВВГ4х2,5	25
22	Очистной барабан	4	15	31	155	35,65	40	193,75	630	–	–	63	ВА51-29	ВВГ4х6	40
23	Очистной барабан	1	7,5	15,4	77	17,71	20	96,25	250	–	–	25	ВА51-25	ВВГ4х1,5	16
39	Горизонтально-фрезерный станок	1	30	61,8	310	71,3	80	387,5	1000	–	–	100	ВА51Г-31	ВВГ4х16	75
2	Очистной барабан	5	15	31	155	35,65	40	193,75	630	–	–	63	ВА51-29	ВВГ4х6	40
23	Очистной барабан	1	7,5	15,4	77	17,71	20	96,25	250	–	–	25	ВА51-25	ВВГ4х1,5	6
24	Пресс кривошипный	1	14,2	29,2	146	33,58	40	182,5	630	–	–	63	ВА51-29	ВВГ4х4	30
25	Пресс однокривошипный	1	7,8	16,1	80,5	18,515	20	100,625	250	–	–	25	ВА51-25	ВВГ4х2,5	25
26	Фрезерный станок	1	8,8	18,12	90,6	20,838	25	113,25	250	–	–	25	ВА51-25	ВВГ4х2,5	25

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
27	Расточно-фрезерный станок	1	14,4	30	150	34,5	40	187,5	630	–	–	63	BA51-29	BBГ4x4	30
28	Токарно-фрезерный станок	1	12	24,7	123,5	28,405	25	154,375	250	–	–	25	BA51-25	BBГ4x2,5	25
29	Пресс однокривошипный	1	7,5	15,4	77	17,71	20	96,25	250	–	–	25	BA51-25	BBГ4x1,5	16
6	Радиально-сверлильный станок	2	9,8	20,2	101	23,23	25	126,25	250	–	–	25	BA51-25	ПВ 2,5(1x4)	25
30	Горизонтально-фрезерный станок	3	6,5	13,4	67	15,41	20	83,75	250	–	–	25	BA51-25	ПВ 1,5(1x4)	16
36	Протяжно-вертикальный станок	1	15	31	155	35,65	40	193,75	630	–	–	63	BA51-29	ПВ 6(1x4)	40
37	Расточный станок	2	3	6,2	31	7,13	10	38,75	160	–	–	16	BA51-16	ПВ 1,5(1x4)	16
2	Установка плазменной руки ПВ=45%	1	$\frac{5,232}{13}$	11	55	12,65	16	68,75	160	–	–	16	BA51-16	ПВ 1,5(1x4)	16
31	Пресс 4х кривошипный	1	55	113,23	566,15	130,2	160	770	1600	–	–	160	BA51-33	ПВ 35(1x4)	115
32	Сушильная камера	1	14,2	29,2	146	33,58	40	182,5	630	–	–	63	BA51-29	ПВ6(1x6)	40
38	Сварочный полуавтомат	5	15	31	155	–	–	–	–	62	80	100	ПР2	BBГ4x6	40

3 Расчёт электрических нагрузок по предприятию

3.1 Расчёт нагрузок цехов предприятия

Находим расчётную нагрузку для завода.

В соответствии с типами цехов завода используя справочные данные выбираем значения коэффициента использования и мощности, значения внесены в таблицу 6.

Сначала проводим расчет нагрузки цехов на напряжении 0,4 кВ.

Рассчитываем средние значения активной и реактивной мощностей по формулам 45 и 46, результаты расчёта внесены в таблицу 6.

$$P_{C_n} = K_{И_n} \cdot P_{\Sigma_{H_n}}, \text{ кВт} \quad (45)$$

$$P_{C_1} = 0,4 \cdot 6030 = 2412 \text{ кВт}$$

Расчёты среднего значения активной мощности для остальных цехов проведены аналогично.

$$Q_{C_n} = P_{C_n} \cdot \text{tg}\varphi_n, \text{ квар} \quad (46)$$

$$Q_{C_1} = 2412 \cdot 0,75 = 1809, \text{ квар}$$

Расчёты среднего значения реактивной мощности для остальных цехов проведены аналогично.

Определяем расчётный коэффициент по справочным данным в соответствии с зависимостью 47.

$$K_{P_n} = f(K_{И_n}; n_{Э_n}) \quad (47)$$

$$K_{P_1} = f(0,4; 140)$$

Для каждого цеха расчётный коэффициент находится аналогично.

Рассчитываем расчетные активную и реактивную мощности по формулам 48 и 49.

$$P_{P_n} = K_{P_n} \cdot P_{C_n}, \text{ кВт} \quad (48)$$
$$P_{P_1} = 0,7 \cdot 2412 = 1688,4 \text{ кВт}$$

Расчёт активной расчётной мощности для остальных цехов проводится аналогично.

$$Q_{P_n} = 1,1 \cdot Q_{C_n} \text{ при } \cos \varphi_n \leq 10 \quad (49)$$
$$Q_{P_n} = Q_{C_n} \text{ при } \cos \varphi_n > 10$$
$$Q_{P_1} = Q_{C_1} = 1809, \text{ квар}$$

Расчёт реактивной расчётной мощности для остальных цехов проводится аналогично.

Рассчитываем полную расчетную мощность по формуле 50.

$$S_{P_n} = \sqrt{P_{P_n}^2 + Q_{P_n}^2}, \text{ кВА} \quad (50)$$
$$S_{P_1} = \sqrt{1688,4^2 + 1809^2} = 2474,505 \text{ кВА}$$

Расчёт полной расчётной мощности для других цехов проводится аналогично.

Определяем общие нагрузки для всех цехов 0,4 кВ. Находим суммарное значение электроприемников, номинальной активной мощности, средней активной и реактивной мощности, и расчетные активные и реактивные мощности.

Рассчитываем суммарные значения коэффициента использования и $\text{tg } \varphi$ для всей низковольтной нагрузки по формулам 51 и 52.

$$K_{И} = \frac{\sum P_C}{\sum P_H} \quad (51)$$

$$K_{И} = \frac{16462,915}{35883,532} = 0,459$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C} \quad (52)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{15498,4}{16462,915} = 0,941$$

Суммарная полная мощность находится по формуле 53.

$$\sum S_P = \sqrt{\sum P_P^2 + \sum Q_P^2}, \text{ кВА} \quad (53)$$

$$\sum S_P = \sqrt{12582,456^2 + 15501,85^2} = 19965,609 \text{ кВА}$$

Рассчитываем среднесменную нагрузку.

Находим суммарные значения электроприемников, номинальной активной мощности, средней активной и реактивной мощности. После этого также находятся общие коэффициенты.

Рассчитываем суммарную полную мощность.

Результаты расчетов сводим в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчета нагрузок по предприятию

Название цеха	P_H , кВт	n_{Σ}	ΣP_H , кВт	K_H	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_P / K_O	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Сборочный корпус	–	140	6030	0,4	0,8	0,75	2412	1809	0,7/–	1688,4	1809	2474,505
Ремонтно-механический цех	–	39	435	0,3	0,6	1,33	130,5	173,565	0,75/–	97,875	173,565	199,259
Сборочный цех №1	–	48	640	0,4	0,8	0,75	256	192	0,75/–	192	192	271,529
Цех сборки сварочных трансформаторов	–	45	651,532	0,258	0,92	0,43	167,915	184,664	–	229,928	184,664	294,903
Гальванический цех	–	36	5100	0,5	0,85	0,62	2550	1581	0,8/–	2040	1581	2580,923
Деревообрабатывающий цех	–	25	441	0,4	0,6	1,33	176,4	234,612	0,85/–	149,94	234,612	278,433
Литейный цех	–	127	4091	0,6	0,7	1,02	2454,6	2503,692	0,8/–	1963,68	2503,692	3181,904
Механический цех №1	–	73	2360	0,5	0,6	1,33	1180	1569,4	0,75/–	885	1569,4	1801,733
Обмоточный цех	–	160	1799	0,4	0,8	0,75	719,6	539,7	0,7/–	503,72	539,7	738,248
Штамповочный цех	–	45	2015	0,6	0,75	0,88	1209	1063,92	0,85/–	1027,65	1063,92	1479,186
Механический цех №2	–	50	4760	0,5	0,6	1,33	2380	3165,4	0,75/–	1785	3165,4	3634,004

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Сборочный электроцех	–	84	1882	0,4	0,8	0,75	752,8	564,6	0,7/–	526,96	564,6	772,308
Автоматический цех	–	187	2814	0,4	0,8	0,75	1125,6	844,2	0,7/–	787,92	844,2	1154,769
Компрессорная	–	5	32	0,8	0,8	0,75	25,6	19,2	0,93/–	23,808	21,12	31,826
Склад №1	–	8	40	0,3	0,7	1,02	12	12,24	0,95/–	11,4	13,464	17,642
Корпус №1	–	51	730	0,4	0,8	0,75	292	219	0,7/–	204,4	219	299,567
Склад №2	–	7	10	0,3	0,7	1,02	3	3,06	0,95/–	2,85	3,366	4,411
Инструментальный цех	–	37	2053	0,3	0,6	1,33	615,9	819,147	0,75/–	461,925	819,147	940,413
ИТОГО	–	–	35883,532	0,459	–	0,941	16462,915	15498,4	–	12582,456	15501,85	19965,609

3.2 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций. Выбор компенсирующих установок

После изучения плана завода, расположения цехов и производственных площадок относительно друг друга, с учётом нагрузок каждого цеха, расположение и компоновка выбраны следующим образом:

- ТП 1: подаёт питание на 1 Сборочной корпус, 2 Ремонтно-механический цех и 3 Сборочный цех №1;
- ТП 2: подаёт питание на 4 Цех сборки сварочных трансформаторов;
- ТП 3: подаёт питание на 5 Гальванический цех и 6 Деревообрабатывающий цех;
- ТП 4: подаёт питание на 7 Литейный цех;
- ТП 5: подаёт питание на 8 Механический цех №1;
- ТП 6: подаёт питание на 9 Обмоточный цех и 10 Штамповочный цех;
- ТП 7 подаёт питание на 11 Механический цех №2;
- ТП 8 подаёт питание на 12 Сборочный электроцех, 13 Автоматический цех, 14 Компрессорную, 15 Склад №1, 16 Корпус №1, 17 Склад №2 и 18 Инструментальный цех.

Категории надёжности определяем исходя из назначения цеха.

Расчёт мощности компенсирующей установки на напряжение 0,4 кВ:

$$Q_{K.Pn} = \alpha \cdot P_{Pn} \cdot (\operatorname{tg}\varphi_n - \operatorname{tg}\varphi_{к.р}), \text{ квар} \quad (54)$$

где $Q_{к.р}$ – расчетная мощность КУ, квар;

α – коэффициент, учитывающий повышение $\cos\varphi$ естественным способом, принимается равным 0,9;

P_p – расчетная активная мощность цеха, кВт;

$\operatorname{tg}\varphi$, $\operatorname{tg}\varphi_{к.р}$ – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

$$\operatorname{tg}\varphi_n = \frac{\sum Q_{cn}}{\sum P_{cn}} \quad (55)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{\sum 2174,565}{\sum 2798,5} = 0,777$$

$$Q_{K.PTP1} = 0,9 \cdot 2798,5 \cdot (0,777 - 0,33) = 1125,837 \text{ , квар}$$

Предварительно выбираем компенсирующие устройства для групп цехов [18]:

- для ТП 1 выбираем 2 компенсирующих устройств типа УКРМ 0,4-525-75 (СКЗ);

- для ТП 3 выбираем 2 компенсирующих устройства типа УКРМ 0,4-400-50 (СКЗ);

- для ТП 4 выбираем 2 компенсирующих устройств типа УКРМ 0,4-700-10 (СКЗ);

- для ТП 5 выбираем компенсирующее устройство типа УКРМФ 0,4-1000-50 (СКЗ);

- для ТП 6 выбираем 2 компенсирующих устройств типа УКРМ 0,4-425-25 (СКЗ);

- для ТП 7 выбираем компенсирующих устройств типа УКРМ 0,4-2000-100 (СКЗ);

- для ТП 8 выбираем 2 компенсирующих устройств типа УКРМ 0,4-900-25 (СКЗ).

Пересчитываем расчётную полную мощность с учётом компенсации.

$$S_{Pn} = \sqrt{P_{Pn}^2 + (Q_{Pn} - Q_{K.Pn})^2} \text{ , кВА} \quad (56)$$

$$S_{P1} = \sqrt{2798,5^2 + (1125,837 - 1050)^2} = 2799,527 \text{ кВА}$$

Предварительно для ТП 1 выбираем 2 трансформатора типа ТС3200-10-0,4 с $S_T = 3200$ кВА; $U_{кз} = 6\%$; $P_{xx} = 5300$ Вт; $P_{кз} = 22100$ Вт; $I_{xx} = 0,3\%$.

Предварительно для ТП 3 выбираем 2 трансформатора типа ТС3200-10-0,4 с $S_T = 3200$ кВА; $U_{кз} = 6\%$; $P_{xx} = 5300$ Вт; $P_{кз} = 22100$ Вт; $I_{xx} = 0,3\%$.

Предварительно для ТП 4 выбираем 2 трансформатора типа ТС3200-10-0,4 с $S_T = 3200$ кВА; $U_{кз} = 6\%$; $P_{xx} = 5300$ Вт; $P_{кз} = 22100$ Вт; $I_{xx} = 0,3\%$.

Предварительно для ТП 5 выбираем трансформатор типа ТС1600-10-0,4 с $S_T = 1600$ кВА; $U_{кз} = 6\%$; $P_{xx} = 2370$ Вт; $P_{кз} = 11900$ Вт; $I_{xx} = 0,35\%$.

Предварительно для ТП 6 выбираем 2 трансформатора типа ТС 2500-10-0,4 с $S_T = 2500$ кВА; $U_{кз} = 6\%$; $P_{xx} = 3300$ Вт; $P_{кз} = 16750$ Вт; $I_{xx} = 0,3\%$.

Предварительно для ТП 7 выбираем трансформатор типа ТС3200-10-0,4 с $S_T = 3200$ кВА; $U_{кз} = 6\%$; $P_{xx} = 5300$ Вт; $P_{кз} = 22100$ Вт; $I_{xx} = 0,3\%$.

Предварительно для ТП 8 выбираем 2 трансформатора типа ТС3200-10-0,4 с $S_T = 3200$ кВА; $U_{кз} = 6\%$; $P_{xx} = 5300$ Вт; $P_{кз} = 22100$ Вт; $I_{xx} = 0,3\%$.

Проверим правильность выбора трансформаторов:

$$S_T \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T}, \text{ кВА} \quad (57)$$

где S_T – полная мощность одного трансформатора, кВА;

S_p – полная расчетная мощность по цехам с учетом компенсации, кВА;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

N_T – количество трансформаторов в цеховой ПС.

$$3200 \geq \frac{2799,527}{0,8 \cdot 2}$$

$$3200 \geq 1749,704 \text{ кВА}$$

Все выбранные трансформаторы [20] прошли проверку и соответствуют предъявляемым требованиям.

Расчёт плотности электрической нагрузки цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \quad (58)$$

где σ - плотность электрической нагрузки цеха(-ов), кВА / м²;

S_p – полная расчетная мощность по цеху с учетом компенсации, кВА;

$F_{ц}$ – площадь цеха(-ов), м².

$$\sigma_{\text{тп1}} = \frac{2799,527}{12200} = 0,23 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$$

Все данные по расчетам заносятся в таблицу 7.

Выводы по разделу 3:

1. Выполнен расчёт нагрузок для цехов предприятия, полная мощность предприятия равна 16199,237 кВА

2. Проведён расчёт и выбор типа и мощности цеховых трансформаторов и компенсирующих установок, были выбраны трансформаторы типа ТС мощностей 3200, 2500 и 1600 кВА и компенсирующие установки типа УКРМ различных мощностей соответствующих нагрузкам цехов.

Таблица 7 – Результаты расчетов выбора цеховых трансформаторов и КУ

Наименование цехов предприятия	Категория надежности	F _ц , м ²	Б, кВА/м ²	P _р , кВт	Q _р , ,квар	Q _{кр} , ,квар	S _р , кВА	Принято к установке		
								КУ	S _{н.т.} , кВА	n _т / n _{ку}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сборочный корпус	3	12200	0,23	2798,5	2174,565	1125,837	2799,527	УКРМ 0,4-525-75 (СКЗ)	3200	2/2
Ремонтно-механический цех	3									
Сборочный цех №1	3									
Цех сборки сварочных трансформаторов	3	1440	0,167	167,915	184,664	72,164	240,987	УКЛ(П)57-10,5-112,5	400	1/1
Гальванический цех	2	11600	0,235	2726,4	1815,612	824,463	2726,51	УКРМ 0,4-400-50 (СКЗ)	3200	2/2
Деревообрабатывающий цех	3									
Литейный цех	1	8000	0,307	2454,6	2503,692	1524,307	2457,746	УКРМ 0,4-700-10 (СКЗ)	3200	2/2
Механический цех №1	3	6400	0,184	1180	1569,4	1062	1180,061	УКРМФ 0,4-1000-50 (СКЗ)	1600	1/1
Обмоточный цех	3	6200	0,311	1928,6	1603,62	871,342	1928,718	УКРМ 0,4-425-25 (СКЗ)	2500	2/2
Штамповочный цех	3									

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Механический цех №2	3	8000	0,298	2380	3165,4	2142	2384,232	УКРМ 0,4-2000-100 (СКЗ)-	3200-	1/1
Сборочный электроцех	2	16900	0,147	2481,447	2826,9	1806,741	2481,456	УКРМ 0,4-900-25 (СКЗ)	3200	2/2
Автоматический цех	2									
Компрессорная	2									
Склад №1	3									
Корпус №1	2									
Склад №2	3									
Инструментальный цех	2									
Суммарная полная мощность цехов, $\sum S_p$: 16199,237 кВА										

4 Определение местоположения ГПП

Составим таблицу 8 со всеми цеховыми трансформаторными подстанциями.

Таблица 8 – Данные по мощностям цеховых ТП

Название цехового ТП	ТП 1	ТП 2	ТП 3	ТП 4	ТП 5	ТП6	ТП7	ТП8
Участки по цеховым ТП	1,2,3	4	5,6	7	8	9,10	11	12,13,14,15,16,17,18
Р _р , кВт	2798,5	167,915	2726,4	2454,6	1180	1928,6	2380	2481,447
Q _р , квар	2174,565	184,664	1815,612	2503,692	1569,4	1603,62	3165,4	2826,9

Нанесём на генеральный план завода картограмму с осями X и Y.

Масштаб примем равный $m_{\Gamma} = 1$ м/мм.

Разместим цеховые ТП так, чтобы они располагались как можно ближе к месту прихода питания. Размер цеховых ТП равен 10x10 метров.

После этого определим координаты X и Y каждой цеховой ТП.

Рассчитаем радиусы активных и реактивных нагрузок. Примем для наименьшей нагрузки (ТП 2) радиус $R_{A2} = 15$ м., тогда.

$$m_a = \frac{P_{\text{ТП}2}}{\pi R_{A2}^2}, \text{ кВт/м}^2 \quad (59)$$

$$m_a = \frac{167,915}{3,14 * 15^2} = 0,238 \text{ кВт/м}^2$$

Принимается $m_a = 0,25$ кВт/м².

Определяется радиус для наибольшей нагрузки цеховых ТП.

$$R_{A1} = \sqrt{\frac{P_{\text{ТП}1}}{\pi m_a}}, \text{ м} \quad (60)$$

$$R_{A1} = \sqrt{\frac{2798,5}{3,14 \cdot 0,25}} = 59,692 \text{ м}$$

Все укладывается в масштабы, а значит, значения выбраны верно. Досчитаем радиусы для остальных цехов.

Примем $m_p = 0,25$, квар/м² и рассчитаем радиусы реактивных мощностей по формуле:

$$R_{Pn} = \sqrt{\frac{Q_n}{\pi m_p}}, \text{ м} \quad (61)$$

Занесем все значения в таблицу 9.

Таблица 9 – Данные по радиусам мощностей цеховых ТП

Название цехового ТП	ТП 1	ТП 2	ТП 3	ТП 4	ТП 5	ТП 6	ТП7	ТП8
X, м	783,591	719,161	618,172	619,62	578,789	469,556	469,494	360,38
Y, м	406,174	452,0612	427,391	250,747	283,313	480,815	262,086	480,558
P _p , кВт	2798,5	167,915	2726,4	2454,6	1180	1928,6	2380	2481,447
R _A , м	59,692	15	58,918	55,904	38,761	49,554	55,048	56,209
Q _p , квар	2174,565	184,664	1815,612	1524,307	1569,4	1603,62	3165,4	2826,9
R _p , м	52,619	15,334	48,08	44,055	44,702	45,186	63,485	59,994

Определяем условные ЦЭН активной и реактивной.

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \text{ м} \quad (62)$$

$$X_{a0} = \frac{2798,5 \cdot 783,591 + 167,915 \cdot 719,161 + 2726,4 \cdot 618,172 + 2454,6 \cdot 619,62 + 1180 \cdot 578,789 + 1928,6 \cdot 469,556 + 2380 \cdot 469,494 + 2481,447 \cdot 360,38}{16117,462} + \frac{1180 \cdot 578,789 + 1928,6 \cdot 469,556 + 2380 \cdot 469,494 + 2481,447 \cdot 360,38}{16117,462} = 565,856 \text{ м}$$

$$Y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \text{ м0} \quad (63)$$

$$Y_{a0} = \frac{2798,5 \cdot 406,174 + 167,915 \cdot 452,0612 + 2726,4 \cdot 427,391 + 2454,6 \cdot 250,747 + 1180 \cdot 283,313 + 1928,6 \cdot 480,815 + 2380 \cdot 262,086 + 2481,447 \cdot 480,558}{16117,462} + \frac{1180 \cdot 283,313 + 1928,6 \cdot 480,815 + 2380 \cdot 262,086 + 2481,447 \cdot 480,558}{16117,462}$$

$$+ \frac{1180 \cdot 283,313 + 1928,6 \cdot 480,815 + 2380 \cdot 262,086 + 2481,447 \cdot 480,558}{16117,462} = 376,682 \text{ м}$$

$$X_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}, \text{ м} \quad (64)$$

X_{p0}

$$= \frac{2174,565 \cdot 783,591 + 184,664 \cdot 719,161 + 1815,612 \cdot 618,172 + 1524,307 \cdot 619,62 +$$

$$+ \frac{1569,4 \cdot 578,789 + 1603,62 \cdot 469,556 + 3165,4 \cdot 469,494 + 2826,9 \cdot 360,38}{14864,468}$$

$$= 542,896 \text{ м}$$

$$Y_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}, \text{ м} \quad (65)$$

Y_{p0}

$$= \frac{2174,565 \cdot 406,174 + 184,664 \cdot 452,061 + 1815,612 \cdot 427,391 + 1524,307 \cdot 250,747 +$$

$$+ \frac{1569,4 \cdot 283,313 + 1603,62 \cdot 480,815 + 3165,4 \cdot 262,086 + 2826,9 \cdot 480,558}{14864,468}$$

$$= 371,94 \text{ м}$$

Вблизи точки А предварительно располагается ГПП.

Вблизи точки В предварительно располагается ККУ или СК.

Нанеся данные точки на картограмму, видно, что их расположение находятся на территории, на которой не может располагаться ГПП ввиду своих габаритов, поэтому перенесём её юго-восточнее полученных координат, на ближайшее удобное место. Прежде всего территория ГПП разделена на 2 части: открытые распределительные устройства и закрытые распределительные устройства. В первой части (на ОРУ) будет располагаться оборудование 110кВ это: разъединители, выключатели 110кВ, силовые питающие трансформаторы, трансформаторы тока и напряжения. Во второй части (в ЗРУ) будет расположатся оборудование низшего класса напряжения это: комплектное распределительное устройство на напряжение 10кВ [25], в которое войдут трансформаторы собственных нужд и напряжения,

выключатели на напряжение 10кВ, а также шкафы защиты и измерений на 110кВ[6,7,24].

Выводы по разделу 4:

1. Проведён расчёт местоположения главной понизительной подстанции (ГПП) предприятия. Местоположение определено по результатам расчета и нанесения на генеральный план предприятия кругов с радиусами соответствующих мощностей цехов предприятия. Таким образом был рассчитан центр электрических нагрузок (ЦЭН) предприятия. Так как ЦЭН находился в месте, в котором установка главной понизительной подстанции невозможна ввиду пролегания дороги и одного из цехов предприятия, поэтому было выбрано ближайшее удобное место для установки.

2. Выполнен выбор основных конструктивных решений по подстанции, на ОРУ располагается оборудование на напряжение 110кВ, в ЗРУ оборудование на напряжение 10кВ и шкафы управления.

5 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП

Из-за того, что на промышленном предприятии по производству электрооборудования имеются источники первой и второй категории безопасности следует выбирать для главной понижающей подстанции вариант исполнения с двумя трансформаторами, которые обеспечат бесперебойность питания потребителей первой электрической энергии[3,8].

Находим активные потери на цеховых трансформаторах.

$$\begin{aligned}\Delta P_T &= \sum S_P \cdot 0,02, \text{ кВт} & (66) \\ \Delta P_T &= 16199,237 \cdot 0,02 = 323,985 \text{ кВт}\end{aligned}$$

Находим суммарную активную мощность по всему предприятию по формуле 67.

$$\begin{aligned}P_{PI} &= P_{PH} + P_{PB} + \Delta P_T, \text{ кВт} & (67) \\ P_{PI} &= 16117,462 + 323,985 = 16441,447 \text{ кВт}\end{aligned}$$

Определяем величину рационального напряжения, которую можно определить по формуле 68.

$$\begin{aligned}U_{PAЦ} &= 4,34 \cdot \sqrt{L + 0,016 \cdot P_{PI}}, \text{ кВ} & (68) \\ U_{PAЦ} &= 4,34 \cdot \sqrt{14 + 0,016 \cdot 16441,447} = 70,791 \text{ кВ}\end{aligned}$$

Согласно расчетам, выбираем питающее напряжение равное 110 кВ.

Определим экономически целесообразную реактивную мощность, потребляемую предприятием из энергосистемы, на стороне ВН ГПП по формуле 69.

$$Q_{ЭС} = P_{PH} \cdot \text{tg } \varphi_{ЭС}, \text{ , квар} \quad (69)$$

$$Q_{\text{ЭС}} = 16117,462 \cdot 0,54 = 8703,43 \text{ , квар}$$

Определим значение полной расчетной мощности промышленного предприятия по формуле 70.

$$S_{\text{РП}} = \sqrt{P_{\text{РП}}^2 + Q_{\text{ЭС}}^2} \text{ , кВА} \quad (70)$$

$$S_{\text{РП}} = \sqrt{16117,462^2 + 8703,43^2} = 18317,267 \text{ кВА}$$

Определяем номинальную мощность трансформаторов на ГПП по формуле 71.

$$S_{\text{T}} \geq \frac{S_{\text{РП}} \cdot K_{1-2}}{K_{\text{ПЕР}}} \text{ , кВА} \quad (71)$$

$$S_{\text{T}} \geq \frac{18317,267 \cdot 1}{1,3} = 14090,206 \text{ кВА}$$

Выбираем для установки на территории предприятия главной понизительной подстанции с2 трансформатора типа ТДН-16000/110/10 [19], что обеспечит нам бесперебойность и надёжность питания электроустановок.

Выводы по разделу 5:

1. Проведён расчёт мощности силового трансформатора главной понизительной подстанции

2. Выбраны 2 трансформатора типа ТДН-16000/110/10.

6 Расчёт токов короткого замыкания

Для выбора оборудования необходимо выполнять расчеты токов короткого замыкания. Расчет производится по расчетной схеме и схеме замещения которые показаны на рисунке 3 [10].

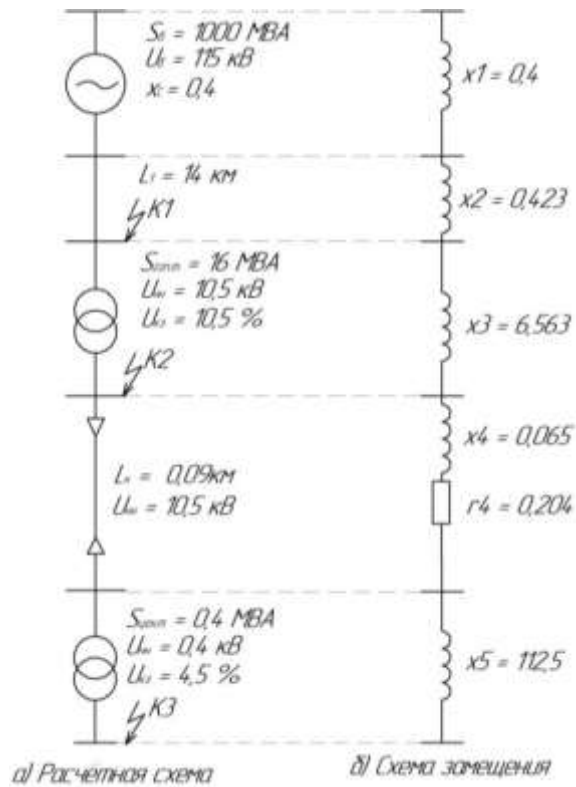


Рисунок 3 – Схема расчёта токов короткого замыкания

Индуктивное сопротивление схемы x_1 :

$$x_1 = x_c \quad (72)$$

$$x_1 = 0,4$$

Индуктивное сопротивление воздушной линии (ЛЭП) x_2 :

$$x_2 = x_0 \cdot L_1 \cdot \frac{S_6}{U_6^2} \quad (73)$$

где $x_0 = 0,4$ Ом/км - удельное индуктивное сопротивление одного километра длины провода воздушной линии.

$$x_2 = 0,4 \cdot 14 \frac{1000}{115^2} = 0,423$$

Индуктивное сопротивление головного трансформатора x_3 :

$$x_3 = \frac{u_{к.з} \%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.т.}} \quad (74)$$
$$x_3 = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 6,563$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии x_4 :

$$x_4 = x_0 \cdot L_k \cdot \frac{S_6}{U_H^2} \quad (75)$$

где $x_0 = 0,08$ Ом/км - удельное индуктивное сопротивление одного километра длины провода кабельной линии.

$$x_4 = 0,08 \cdot 0,09 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,065$$

Активное сопротивление кабельной линии r_4 :

$$r_4 = r_0 \cdot L_k \cdot \frac{S_6}{U_{ном}^2} \quad (76)$$

где $r_0 = 0,25$ Ом/км - удельное активное сопротивление одного километра кабельной линии

$$r_4 = 0,25 \cdot 0,09 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,204$$

Индуктивное сопротивление головного трансформатора x_5 :

$$x_5 = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{1000}{0,4} = 112,5$$

Суммарное индуктивное сопротивление до точки замыкания, $X_{\Sigma K_n}$:

$$X_{\Sigma K_n} = x_n + x_n \quad (77)$$

$$X_{\Sigma K1} = 0,4 + 0,423 = 0,823$$

$$X_{\Sigma K2} = 0,4 + 0,423 + 6,563 = 7,386$$

$$X_{\Sigma K3} = 0,4 + 0,423 + 6,563 + 0,065 + 112,5 = 119,951$$

Полное сопротивление до точки замыкания, Z_{K_n} :

$$Z_{K_n} = \sqrt{(X_{\Sigma K_n})^2 + r_n^2} \quad (78)$$

$$Z_{K1} = \sqrt{0,823^2 + 0^2} = 0,823$$

$$Z_{K2} = \sqrt{7,386^2 + 0^2} = 7,386$$

$$Z_{K3} = \sqrt{119,951^2 + 0,204^2} = 119,951$$

Базисный ток в точке K_n , I_{6n} кА:

$$I_{6n} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ кА} \quad (79)$$

$$I_{61} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}$$

$$I_{62} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,986 \text{ кА}$$

$$I_{63} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1443,376 \text{ кА}$$

Ток короткого замыкание точки $K_n, I_{кзn}$ кА:

$$I_{кзn} = \frac{I_{6n}}{Z_{Kn}}, \text{ кА} \quad (80)$$
$$I_{кз1} = \frac{5,02}{0,823} = 6,1 \text{ кА}$$
$$I_{кз2} = \frac{54,986}{7,386} = 7,445 \text{ кА}$$
$$I_{кз3} = \frac{1443,376}{119,951} = 12,033 \text{ кА}$$

Ударный ток короткого замыкания в точке K_n, i_{yKn} кА:

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз1} \text{ кА} \quad (81)$$

где $K_y=1,8$ - ударный коэффициент для сетей высокого напряжения;

$K_y=1,7$ для сети с учётом активного сопротивления

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,1 = 15,528 \text{ кА}$$
$$i_{yк2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 7,445 = 18,952 \text{ кА}$$
$$i_{yк3} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 12,033 = 28,929 \text{ кА}$$

Выводы по разделу 6:

1. Выполнен расчёт токов короткого замыкания на стороне 110кВ в точке К1, ток короткого замыкания 6,1 кА

2. Выполнен расчёт токов короткого замыкания на стороне 10кВ в точке К2, ток короткого замыкания 7,445 кА

3. Выполнен расчёт токов короткого замыкания на стороне 0,4кВ в точке К3, ток короткого замыкания 12,033 кА.

7 Расчёт высоковольтного кабеля

В электроустановках напряжением выше 1000В принято сечение проводов линии в цепях для уменьшения затрат, эксплуатационных расходов выбирать по экономической плотности тока.

Кабели, как и шины, выбираются по номинальным потерям (тока, напряжения) и проверяется на термическую устойчивость при коротких замыканиях

Расчёт производится на основании расчётных значений токов К.З. Выбранный кабель должен выдержать не только допустимый ток электроприёмника, но и воздействие термического и электродинамического характера токов К.З.

Расчёт производится в 2 этапа:

- Определяется сечение кабеля по экономической плотности тока;
- Производится проверка сечения на термическую устойчивость.

Номинальный ток силового трансформатора $I_{н.тр.}$, А:

$$I_{н.тр.} = \frac{S_{н.тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \text{ А} \quad (82)$$
$$I_{н.тр.} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ А}$$

Предварительное сечение кабеля по экономической плотности тока $S_э$, мм²:

$$S_э = \frac{I_{н.тр.}}{j_э} \text{ мм}^2, \quad (83)$$

где $j_э$ -экономическая плотность тока для алюминия $j_э = 1,2$.

$$S_э = \frac{22}{1,2} = 18,333 \text{ мм}^2$$

Предварительно выбран кабель с алюминиевой жилой $S = 25 \text{ мм}^2$.

Проверка сечения на термическую устойчивость S , мм^2 :

$$S_{\text{мин}} = \frac{I_{\text{кз.п}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{C} \text{ мм}^2, \quad (84)$$

где C -коэффициент, соответствующий разности теплоты в проводнике до и после К.З. для алюминия $C = 80$.

$$S_{\text{мин}} = \frac{18952 \cdot \sqrt{0,345}}{85} = 130,962 \text{ мм}^2$$

Выбранный кабель не прошёл проверку на термическую устойчивость. Окончательно к установке принимается кабель типа ААШв-10-3х150 с алюминиевой токопроводящей жилой, алюминиевой оболочкой и защитным покровом в виде шланга из поливинилхлоридного пластика [14].

Расчёты высоковольтных кабелей для питания остальных цеховых трансформаторных подстанций проведены аналогичным образом. Для всех цеховых подстанций выбраны кабели типа ААШв-10-3х150 с алюминиевой жилой. Для питания со стороны напряжения 110кВ выбран кабель типа АС70-11 алюминиево-стальной с сечением токоведущей жилы из алюминия равным 70 мм^2 и стальным сердечником с сечением равным 11 мм^2 [13].

Выводы по разделу 7:

1. Выполнен расчёт высоковольтных кабелей для питания оборудования
2. Выбраны кабели типа ААШв-10-3х150 и АС70-11.

8 Выбор основных конструктивных решений по ГПП

Для питающих линий и распределительных устройств напряжением 110кВ принимаем сооружение открытого типа. В качестве токоведущих частей используем комбинированную ошиновку, как гибкую так жесткую (что позволит решить проблему изменения длины шин при изменении температуры) [27,30].

В ОРУ 110 кВ предусматриваем элегазовые выключатели. Также применяем отдельно стоящие измерительные трансформаторы тока напряжения [28,29].

Для выполнения требований пожарной безопасности в результате растекания масла и распространения пожара при деформации маслонаполненных силовых трансформаторов, под каждым таким трансформатором устанавливаем маслоприемники, где укладывается слой гравия толщиной 30см, маслоотводы и маслоприёмники, куда масло стекает в случае аварийного выброса, все делается в соответствии с требованиями ПУЭ [26].

Также на подстанции устанавливаем молниеотводы для защиты от гроз.

На напряжение 10 кВ применяем комплектные распределительные устройства (КРУ). КРУ 10 кВ выполняются в виде КРУ в закрытых помещениях (внутренней установки), в котором устанавливаем шкафы с вакуумными выключателями, трансформаторами собственных нужд и напряжений.

Выводы по разделу 8:

1. Были выбраны основные конструктивные решения по установке оборудования ОРУ: установка элегазовых выключателей, трансформаторов тока и напряжения, силовых трансформаторов на специально подготовленное место, молниеотводы

2. Был выбран КРУ на 10кВ следующей конструкции, внутренней установки с трансформаторами собственных нужд.

9 Выбор высоковольтного оборудования для ГПП на стороне 110кВ

На основании расчета токов короткого замыкания для точки К1 $I_{кз1} = 6,1$ кА, $i_{уд1} = 15,528$ кА проведём выбор и проверку выключателей, установленных на стороне высшего напряжения 110 кВ силового трансформатора мощностью 16 МВА.

Предварительно выбираем к установке элегазовый выключатель типа ВЭБ-УЭТМ-110, имеющий следующие параметры: номинальное напряжение $U_{ном} = 110$ кВ; номинальный ток $I_{ном} = 2500$ А; ток электродинамической стойкости $I_{пр.с} = 40$ кА; амплитудное значение $i_{пр.с} = 102$ кА; нормированное мгновенное значение тока включения $i_{вкл.норм} = 102$ кА; начальное действующее значение периодической составляющей $I_{вкл.ном} = 40$ кА; номинальный ток отключения $I_{откл.ном} = 40$ кА; нормированное процентное содержание аperiodической составляющей $\beta_{ном} = 40\%$; ток термической стойкости $I_T = 40$ кА; длительность протекания тока термической стойкости $t_T = 3$ с; собственное время отключения выключателя $t_{св} = 0,062$ с; полное время отключения выключателя $t_{пв.откл} = 0,055$ с [11].

Проверка выключателя на соответствие параметрам системы.

По номинальному напряжению;

$$U_{ном} = 110 \text{ кВ} = U_{сет.ном} = 110 \text{ кВ}$$

По номинальному рабочему току:

$$I_{раб} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 83,978 \text{ А}$$

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,57 \text{ А}$$

$$I_{раб} = 83,978 \text{ А} \leq I_{ном} = 2500 \text{ А}; I_{max} = 117,57 \text{ А} \leq I_{ном} = 2500 \text{ А}$$

По отключающей способности.

На симметричный ток отключения:

где в расчетах используется $I_{п.и} = I_{кз1} = 6,1$ кА;

$$I_{п.о} = 6,1 \text{ кА} \leq I_{откл.ном} = 40 \text{ кА}$$

На отключение апериодической составляющей тока к.з.

$$i_{a.i} \leq i_{a.ном} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{нор}/100) \cdot I_{откл.ном} \quad (85)$$

где $i_{a.i}$ - номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени;

$$\tau = t_{ps} + t_{c.в} \text{ с}, \quad (86)$$

$$\tau = 0,01 + 0,062 = 0,072 \text{ с}$$

$$i_{a.i} = \sqrt{2} \cdot 6,1 \cdot e^{-0,072/0,03} = 0,783 \text{ кА}$$

где $T_a = 0,03$ - постоянная времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания;

$$i_{a.ном} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{нор}/100) \cdot 40 = (\sqrt{2} \cdot 40/100) \cdot 40 = 22,627 \text{ кА}$$

$$i_{a.i} = 0,783 \text{ кА} \leq i_{a.ном} = 22,627 \text{ кА}$$

По включающей способности:

$$I_{кз1} \leq I_{вкл.ном}; i_{уд1} \leq i_{вкл.ном}$$

$$I_{кз1} = 6,1 \text{ кА} \leq I_{вкл.ном} = 40 \text{ кА}; i_{уд1} = 15,528 \text{ кА} \leq i_{вкл.ном} = 102 \text{ кА}$$

По предельному сквозному току короткого замыкания на электродинамическую стойкость;

$$I_{кз1} \leq I_{пр.с}; i_{уд1} \leq i_{пр.с}$$

$$I_{кз1} = 6,1 \text{ кА} \leq I_{пр.с} = 40 \text{ кА}; i_{уд1} = 15,528 \text{ кА} \leq i_{пр.с} = 102 \text{ кА}$$

По тепловому импульсу – на термическую стойкость;

$$W_k \leq I_T^2 \cdot t_{откл.}$$

где $t_{откл.}$ – время отключения короткого замыкания.

$$t_{откл.} = t_{ps} + t_{пв.откл.} \text{ с}, \quad (87)$$

$$t_{откл.} = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ с}$$

$$W_k = I_{п.о}^2 (t_{откл.} + T_a) A^2 \text{ с}, \quad (88)$$

$$W_k = (6,1 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,065 + 0,03) = 3,535 \cdot 10^6 A^2 \text{ с}$$

Так как в данном случае $t_{откл.} = 0,065 \text{ с} < t_T = 3 \text{ с}$, то условие проверки на термическую стойкость имеет вид:

$$W_k = 3,535 \cdot 10^6 A^2 \text{ с} \leq I_T^2 \cdot t_{откл.} = (40 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,065 = 104 \cdot 10^6 A^2 \text{ с}$$

Таким образом, выбранный выключатель ВЭБ-УЭТМ-110 удовлетворяет всем условиям выбора и проверки.

На основании данного расчёта, аналогичным образом выбираем разъединитель типа РН-110/1250 УХЛ1, который удовлетворяет всем требованиям [16].

Также выбираем трансформатор тока наружной установки класса напряжения 110кВ с элегазовой изоляцией типа ТГФМ-110 [4]. Паспортные данные ТГФМ-110кВ: номинальное напряжение $U_{ном} = 110 \text{ кВ}$; номинальный ток $I_{ном} = 400 \text{ А}$; номинальный вторичный ток $I_2 = 5 \text{ А}$; ток термической стойкости $I_T = 40 \text{ кА}$; длительность протекания тока термической стойкости $t_T = 3 \text{ с}$; номинальная вторичная нагрузка при $\cos\varphi_2 = 0,8$, $S_2 = 60 \text{ ВА}$; ток

электродинамической стойкости $i_{пр.с} = 102$ кА. Для подключений аппаратов защиты и управления выбираем медный изолированный провод с сечением 2,5 мм².

К установке принимаем трансформатор напряжения ЗНОГ-110 УХЛ1 элегазовый совместно со шкафом автоматической частотной разгрузки [22] и шинных ТН 110Кв ШЭРА-АЧР-ТН110-4001 которые обеспечат соблюдение всех норм и технических требований выдвигаемых к оборудованию главных понизительных подстанций [15].

Вывод по разделу 9:

1. Для установки на ГПП предприятия выбран выключатель типа ВЭБ-УЭТМ-110

2. Для установки выбран разъединитель типа РН-110/1250 УХЛ1

3. Для установки выбран трансформатор тока типа ТГФМ-110

4. Для установки выбран трансформатор напряжения типа ЗНОГ-110 УХЛ1 со шкафом автоматической частотной разгрузки ТН 110Кв ШЭРА-АЧР-ТН110-4001.

10 Выбор оборудования на стороне 10кВ

Выбираем комплектное распределительное устройство КРУ2-10 на 10 кВ со встроенным оборудованием: силовым выключателями ВБЭ, трансформаторами напряжения 3хЗНОЛ(П)-10 и тока ТОЛ-10 [12,23].

Количество ячеек КРУ в зависимости от принятой схемы электрических соединений подстанции, а именно:

- количество ячеек ввода 2;
- число ячеек секционирования 2;
- число ячеек отходящих линий 16;
- число ячеек ТСН 2
- число ячеек трансформаторов напряжения 2.

Выбранное количество ячеек соответствует выбранной схеме подстанции и обеспечивает достаточную надёжность работы оборудования так для 2 секций применяется: 2 вводные ячейки, 2 секционные ячейки 16 отходящих линий для обеспечения бесперебойного питания потребителей 1 и 2 категорий (по 2 на каждого), 2 ячейки ТСН по одной на каждый трансформатор, также по 1 ячейке ТН для каждой секции шин [17,21].

Проверка выключателя на соответствие параметрам системы. Расчёт проверки выключателя для КРУ выполнен аналогично расчёту выключателя на стороне 110 кВ (данные по расчёту занесены в таблицу 10).

Выбранный выключатель ВБЭ(С)-10/20/1600 удовлетворяет всем условиям выбора и проверки.

Для нормальной работы приборов и аппаратов управления и сигнализации, а также для питания оперативных цепей релейной защиты и автоматики необходим источник оперативного тока. Используют постоянный, выпрямленный и переменный оперативный ток.

В соответствии с действующими требованиями в настоящее время на всех ПС 35-750 кВ должен применяться постоянный оперативный ток. Источником оперативного постоянного тока служит аккумуляторная батарея

(АБ), работающая с зарядно-подзарядным агрегатом в режиме постоянного подзаряда [25].

Для этих нужд принимаем ИПТ-МЭИ.80 (ИПТ), который соответствует всем требованиям ГОСТ и ПУЭ.

Предварительно выбираем 2 ТСН типа ВТСН 10/0,4-145, мощностью 145 кВА для двухтрансформаторной подстанции 110/10 кВ. Мощность, расходуемая на собственные нужды подстанции, $S_{\text{сн}} = 80$ кВА.

Мощность ТСН с учетом коэффициента спроса:

$$S_{\text{ТСН}} \geq k_c \cdot S_{\text{сн}} = 0,7 \cdot 80 = 56 \text{ кВА}$$

Выбираем два трансформатора собственных нужд типа ВТСН 10/0,4-145 мощностью 40 кВА напряжением 10/0,4 кВ.

Таблица 10 – Данные вакуумного выключателя

Выключатель ВБЭ(С)-10/20/1600		
Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
1	2	3
$U_{\text{ном}} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
$I_{\text{раб}} = 879,772 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\text{max}} = 1232,681 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\text{п.т}} = 7,445 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.т}} \leq I_{\text{откл.ном}}$
$I_{\text{кз2}} = 7,445 \text{ кА}$	$I_{\text{вкл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о}} \leq I_{\text{вкл.ном}}$
$i_{\text{а.и}} = 0,955 \text{ кА}$	$i_{\text{а.ном}} = 11,314 \text{ кА}$	$i_{\text{а.т}} \leq i_{\text{а.ном}}$
$I_{\text{кз2}} = 7,445 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о}} \leq I_{\text{пр.с}}$
$i_{\text{уд2}} = 18,952 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 51 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$
$i_{\text{уд2}} = 18,952 \text{ кА}$	$i_{\text{вкл.норм}} = 51 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{вкл.норм}}$
$B_k = 3,925 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$	$B_k = 26 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$	$B_{\text{к.расч}} \leq B_{\text{к.выкл}}$

Вывод по разделу 10:

1. Выбран КРУ типа КРУ2-10 с 3хЗНОЛ(П)-10 и ТОЛ-10
2. Выбрано зарядно-подзарядное устройство типа ИПТ-МЭИ.80 (ИПТ)
3. Выбраны трансформаторы собственных нужд типа ВТСН 10/0,4-145.

Заключение

В выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы проектирования системы электроснабжения промышленного предприятия по производству электротехнической продукции, выбор числа и мощности, расположения и подключения цеховых трансформаторных подстанций, ГПП, высоковольтного оборудования и приборов вторичных цепей, проверка оборудования на соответствие техническим требованиям.

Для установки выбраны 8 трансформаторных цеховых подстанций:

- ТП 1: подаёт питание на 1 Сборочный корпус, 2 Ремонтно-механический цех, 3 Сборочный цех №1 и включает в себя 2 трансформатора типа ТС3200-10-0,4 и 2 компенсирующих устройства типа УКРМ 0,4-525-75(СКЗ);

- ТП 2: подаёт питание на 4 Цех сборки сварочных трансформаторов и включает в себя 1 трансформатор типа ТС3 400-10-0,4 и 1 компенсирующих устройства типа УКЛ(П)57-10,5-112,5;

- ТП 3: подаёт питание на 5 Гальванический цех, 6 Деревообрабатывающий цех и включает в себя 2 трансформатора типа ТС3200-10-0,4 и 2 компенсирующих устройств типа УКРМ 0,4-400-50(СКЗ);

- ТП 4: подаёт питание на 7 Литейный цехи включает в себя 2 трансформатора типа ТС 3200-10-0,4 и 2 компенсирующих устройства УКРМ 0,4-700-10 (СКЗ);

- ТП 5: подаёт питание на 8 Механический цех №1 и включает в себя 1 трансформатор типа ТС1600-6-0,4 и 1 компенсирующее устройство типа УКРМФ 0,4-1000-50(СКЗ);

- ТП 6: подаёт питание на 9 Обмоточный цех, 10 Штамповочный цех и включает в себя 2 трансформатора типа ТС2500-10-0,4 и 2 компенсирующих устройств типа УКРМ 0,4-425-25(СКЗ);

- ТП 7: подаёт питание на 11 Механический цех №2 и включает в себя 1 трансформатор типа ТС 3200-10-0,4 и 1 компенсирующих устройств типа УКРМ 0,4-2000-100(СКЗ);

- ТП 8: подаёт питание на 12 Сборочный электроцех, 13 Автоматический цех, 14 Компрессорную, 15 Склад №1, 16 Корпус №1, 17 Склад №2, 18 Инструментальный цех и включает в себя 2 трансформатора типа ТС 3200-10-0,4 и 2 компенсирующих устройств типа УКРМ 0,4-900-25(СКЗ).

Для ГПП выбраны 2 трансформатора ТДН-16000/110/10, что позволяет обеспечить надёжную работу предприятия. На ОРУ к установке приняты элегазовые выключатели типа ВЭБ-УЭТМ-110, разъединители типа РН-110/1250 УХЛ1, трансформаторы тока ТГМФ-110 и трансформаторы напряжения типа ЗНОГ-110 УХЛ1. В ЗРУ ГПП для установки были выбран КРУ2-10 с выключателями типа ВБЭ(С)-10/20/1600, трансформаторы напряжения типа 3хЗНОЛ(П)-10 и трансформаторы тока типа ТОЛ-10, ко всем ячейкам в комплекте поставляются блоки Сириус, которые позволяют обеспечить релейную и дуговую защиту, а также счётчики реактивной и активной электроэнергии Меркурий, амперметры Ц42702, вольтметры типа Э-335.

Для обеспечения подстанции постоянным оперативным током применяем АКБ с источником бесперебойного питания ИПТ-МЭИ.80 (ИПТ).

Питание собственных нужд подстанция получает через трансформаторы типа ВТСН 10/0,4-145, также в ЗРУ были установлены шкафа автоматической частотной разгрузки ШЭРА-АЧР-ТН110-4001. Все результаты расчётов были занесены в таблицы.

Для питания ГПП со стороны 110кВ был выбран кабель типа АС70-11, питание цеховых подстанций обеспечивают кабели типа ААШв-10-3х150.

При выполнении выпускной квалификационной работы мной были получены знания и умения необходимые для проектирования системы электроснабжения промышленных предприятий.

Список используемых источников

1. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
3. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294837/4294837241.pdf> (дата обращения 21.09.2021).
4. ГОСТ 7746-2015 Трансформаторы тока. Общие технические условия. URL: <https://stv39.ru/gosts/GOST-7746.pdf> (дата обращения 21.09.2021).
5. ГОСТ 1983-2015 Трансформаторы напряжения. Общие технические условия. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293754/4293754223.pdf> (дата обращения 21.09.2021).
6. Кулеева Л.И. Проектирование подстанции учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург:Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 111 с. ISBN 978-5-7410-1542-1.
7. Л. К. Корнеева. Электрооборудование электрических станций и подстанций/Л. Д. Рожкова, Л. К. Корнеева, Т. В. Чиркова. – 2-е изд.,стер. – М. Издательский центр «Академия», 2005. – 448 с.
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: ИНФРА-М, 2017. - 262 с. ISBN 978-5-16-009744-2
9. Правила устройства электроустановок. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. Главы 4.1, 4.2.. - 7-е изд. - Электрон. текстовые данные. - М.: ЭНАС, 2013. - 104 с. ISBN 978-5-4248-0036-8.
10. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98/ под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. 152 с.

11. Сайт выбора высоковольтного оборудования на стороне 110кВ. URL: <https://www.uetm.ru/katalog-produktsii/item/veb-uetm-110/>(дата обращения 27.09.2021).

12. Сайт выбора КРУ. URL:https://zsea.ru/product/kru/kru2-10m/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=44415949&utm_content=7726905676_none&utm_term=%D0%BA%D1%80%D1%83%2002%2010&_openstat=ZGlyZWN0LnlhbmRleC5ydTs0NDQxNTk0OTs3NzI2OTA1Njc2O3lhbmRleC5ydTpwcmVtaXVt&yclid=5766414651889865979(дата обращения 25.09.2021).

13. Сайт выбора кабеля для питания со стороны 110кВ. URL: <https://linijaopory.ru/provod-as-70-11-ves-diametr-sechenie-i-drugie-karakteristiki/>(дата обращения 23.09.2021).

14. Сайт выбора кабеля для питания цеховых подстанций . URL: https://bystrokabel.ru/item/aashv-10kv?utm_source=none&utm_medium=cpc&utm_campaign=25317166&utm_content=3762912887&utm_term=%D0%90%D0%90%D0%A8%D0%B2&utm_position_type=premium&utm_position=3&yclid=5803079812375696157(дата обращения 24.09.2021).

15. Сайт выбора оборудования автоматической частотной разгрузки. URL: <https://www.rza.ru/catalog/rza-prisoedineniy-6-110-kv-shkafy-kombinirovannye/shera-achr-tn110-4001.php> (дата обращения 01.10.2021).

16. Сайт выбора разъединителей. URL: <https://www.electroshield.ru/catalog/razyediniteli-i-vla/razediniteli-naruzhnoy-ustanovki-110-kv/> (дата обращения 29.09.2021).

17. Сайт выбора РЗА. URL:<https://www.rza.ru/>(дата обращения 26.09.2021).

18. Сайт каталог выбора компенсирующих устройств. URL: https://www.mircond.com/kondensatornye-ustanovki/filter/comp_react_mosh-from-150-to-1000/podtip_ust-is-ukrm-or-ukrmt-or-ukrmf/dopolnenie_tip-is-skz/apply/?PAGEN_1=3(дата обращения 25.09.2021).

19. Сайт каталог выбора силовых масляных трансформаторов. URL: <https://www.uetm.ru/katalog-produktsii/item/transformatorysilovymaslyanyetrehfaznyeklassanapryajeniya110kv/>

20. Сайт каталог выбора сухих трансформаторов для подстанций. URL: <https://svel.ru/upload/%D0%A1%D1%83%D1%85%D0%B8%D0%B5%20%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%8B.pdf>(дата обращения 26.09.2021).

21. Сайт каталог выбора электрооборудования для вторичных цепей. URL: <https://elika.kz/index.php/%D0%BE%D0%B0%D0%BE-%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80/%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%8B%2C-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%8B-%D0%BF%D0%BA%D1%8D/%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8-%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%B0/%D1%89%D0%BC120pq>(дата обращения 24.09.2021).

22. Сайт каталог трансформаторов напряжения. URL: <https://etk-oniks.ru/articles/transformatory/transformatory-napryazheniya/klass-napryazheniya-tn-do-10kv/transformatory-napryazheniya-nolp-6-nolp-10/>(дата обращения 24.09.2021).

23. Сайт каталог трансформаторов тока. URL: <https://cztt.nt.ru/catalog/transformatory-izm-6-10-kv>(дата обращения 25.09.2021).

24. Сайт каталог счётчиков электрической энергии. URL: <http://www.sip.spb.ru/catalog/schetchiki-elektroenergii/merkurij-tryoxfaznyie-aktivno/reaktivnyie-mnogofunkczionalnyie/>(дата обращения 24.09.2021).

25. Сайт каталог электрооборудования подстанций. URL:<https://www.vsoyuz.com/ru/produkcija/kru/kru-6-kv/ku6s.htm>(дата обращения 24.09.2021).

26. Сайт правил по пожарной безопасности. URL: <https://legalacts.ru/doc/rd-153-340-03301-00-vppb-01-02-95-pravila-pozharnoi-bezopasnosti/> (дата обращения 24.09.2021).

27. Сайт. URL: https://electric-220.ru/news/ehlektrosnabzhenie_promyshlennykh_predpriyatij/2017-06-16-1297(дата обращения 24.09.2021).

28. СТО 34.01-3.1-002-2016 Типовые технические решения подстанций 6-110 кВ.

29. E.Lakervi and E.J. Homes. Electricity Distribution Network Design The Institution of Engineering and Technology; 2nd edition (June 30, 2003), 340 pages. URL: <https://digital-library.theiet.org/content/books/po/pbpo021e> (дата обращения 24.09.2021).

30. Hatziargyriou, Nikos, de Siqueira, Iony Patriota. Electricity Supply Systems of the Future, publisher E&EE (April 24.07.2012), 655 pages. URL: <https://www.springer.com/gp/book/9783030444839#aboutAuthors> (дата обращения 25.09.2021).

31. Rajesh Aggarwal. Electrician, publisher by NIMI (03.08.2010), 290 pages. URL: https://bharatskills.gov.in/pdf/E_Books/Electrician_SEM1_TT.pdf (дата обращения 24.09.2021).

32. Sanseverino E.R. Favuzza S., Di Silvestre M.L., et al. Improved primary regulation for minimum energy losses in islanded microgrids // 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe, Italy, Torino, September 26-29, 2017, 6 p.

33. Schuitema G., Ryan L., Aravena C. The consumer's role in flexible energy systems: An interdisciplinary E3S Web of Conferences 216, 01027 (2020) RSES 2020 4 approach to changing consumers' behavior // IEEE Power and Energy Magazine, 2017, Vol. 15, №. 1, pp. 53-60. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601027> (дата обращения 21.09.2021).