

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 Проектирование системы электроснабжения группы литейных цехов
машиностроительного завода

Студент

И.А. Корчагин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.п.н., профессор, Н.П. Бахарев

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

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Кириллова

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

Тольятти 2021

Аннотация

Представлен проект разработки внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода с группой литейных цехов. Выполнен анализ технологического процесса машиностроительного завода с группой литейных цехов. Определено, согласно заданию, месторасположения предприятия, а также климатические характеристики района расположения машиностроительного завода с группой литейных цехов.

Выполнен расчет числа и мощности цеховых трансформаторов и выбраны соответствующие трансформаторы для цеховых трансформаторных подстанций. Выполнен выбор проводников и типа распределительной сети машиностроительного завода с группой литейных цехов. Выбрано соответствующее оборудование и проведен расчет токов короткого замыкания. Проведен расчет технико-экономических показателей спроектированной системы электроснабжения машиностроительного завода с группой литейных цехов.

Пояснительная записка выполнена на 62 листах формата А4, содержит 5 рисунков и 16 таблиц. Графическая часть выпускной квалификационной работы выполнена на 6 листах формата А1.

Abstract

The title of graduation thesis is “The design of power supply system of the group of cast centers at the machine-building enterprise”.

The object of the graduation thesis is the machine-building enterprise that is situated at the mid-Volga Region.

The subject of the graduation thesis is the power supply system for the machine-building enterprise.

The graduation thesis could be logically divided on to four main parts that are connected together.

In the first part of graduation thesis the characteristic of machine-building enterprise is give. The characteristic include the number of enterprise centers and their power loads levels. Firs part also include the climate reference of the mid-Volga Region. The results of the first part are used in the second part of the thesis were the main aspects of power supply system are calculated. It is include the power transformer capacity calculation, the coordinates of main substation placement calculation, cables selection, short circuit currents calculation and power equipment choosing.

The third part include the technical and economic estimate for the designed power supply system. The result of technical and economic estimate show that all the design decisions are efficient and could be used in a real projects.

Содержание

Введение.....	6
1 Характеристика промышленного предприятия	8
1.1 Описание технологического процесса промышленного предприятия.....	8
1.2 Состав предприятия.....	9
1.3 Описание окружающей среды предприятия.....	12
2 Выбор числа и мощности цеховых и электропечных трансформаторов. Выбор компенсирующих устройств	14
2.1 Выбор цеховых трансформаторов.....	14
2.2 Выбор электропечных трансформаторов	16
2.3 Расчет активных и реактивных потерь мощности в цеховых трансформаторах.....	17
2.4 Выбор компенсирующих устройств	18
3 Разработка схемы электроснабжения промышленного предприятия и выбор класса напряжения внутриводской системы электроснабжения	21
4 Расчет электрических нагрузок машиностроительного завода	26
5 Выбор трансформаторов главной понизительной подстанции машиностроительного завода	31
6 Выбор типа линий электропередачи внутриводской системы электроснабжения и способа их прокладки	32
7 Расчет токов короткого замыкания внутриводской системы электроснабжения машиностроительного завода	36
7.1 Расчет токов короткого замыкания в общезаводской системе электроснабжения.....	36
7.2 Расчет токов короткого замыкания на участках, имеющих синхронные машины	40
8 Выбор электрических аппаратов внутриводской системы электроснабжения машиностроительного завода	45

8.1 Выбор высоковольтных коммутационных аппаратов	45
8.2 Выбор трансформаторов тока для внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода	47
8.3 Выбор трансформаторов напряжения для внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода.....	49
9 Техничко-экономическая эффективность проекта системы внутризаводского электроснабжения машиностроительного завода.....	51
9.1 Расчет стоимости потерь в кабельных линиях	51
9.2 Расчет стоимости потерь в цеховых трансформаторах	54
Заключение	57
Список используемых источников.....	59

Введение

Развитие промышленного производства и строительство новых крупных промышленных предприятий всегда являлось важным фактором в развитии экономической независимости страны. При этом огромную роль играют предприятия, обеспечивающие требуемым оборудованием другие отрасли народного хозяйства. К таким предприятиям относятся машиностроительные предприятия. Объектом выпускной квалификационной работы является машиностроительное предприятие осуществляющее производство оборудования для горно-обогатительных предприятий.

Технологический процесс машиностроительных предприятий является сложным и требующим больших электрических мощностей. Кроме того, наличие на предприятии сталелитейных и чугунолитейных цехов, которые являются основными в технологическом процессе производства готовой продукции, говорит о том, что предприятие требует обеспечения необходимого уровня электроснабжения как потребитель первой категории надежности, так как перерыв в электроснабжении рассматриваемого предприятия может привести к остановке производства, массовому недоотпуску продукции, а также порче серьезного технологического оборудования.

Категория надежности электроснабжения определяется согласно Правилам Устройства Электроустановок [1] и на этапе проектирования системы электроснабжения по [2].

Для проектирования надежной и современной системы электроснабжения промышленного предприятия необходимо использовать современные методы инженерного проектирования, а также современные методики выбора электрооборудования. При этом выбор электрооборудования должен производиться среди номенклатуры производимого в Российской Федерации электротехнического и высоковольтного оборудования.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка проекта системы электроснабжения машиностроительного предприятия с группой литейных цехов для обеспечения требуемого уровня надёжности электроснабжения.

Для достижения поставленной цели в ВКР необходимо решить следующие задачи:

1. Представить характеристику технологического процесса и описание машиностроительного предприятия в целом;
2. Спроектировать систему внутрицехового электроснабжения ремонтно-механического цеха;
3. Спроектировать систему распределения электрической энергии между производственными цехами машиностроительного предприятия;
4. Спроектировать электрическую часть главной понизительной подстанции машиностроительного предприятия.

Для определения исходных данных по проектированию системы электроснабжения машиностроительного предприятия с группой литейных цехов использовалось учебное пособие [3].

1 Характеристика промышленного предприятия

При разработке проекта электроснабжения промышленного предприятия любой из отраслей народного хозяйства на первом этапе необходимо выполнить анализ технологического процесса предприятия.

Анализ технологического процесса включает в себя описание технологических операций, выполняемых в каждом отдельном производственном цехе, связь цехов промышленного предприятия для выпуска продукции, а также описание продукции производимой предприятием.

Кроме того, необходимо определить близлежащие подстанции энергосистемы, с которых возможно обеспечить питание проектируемой системы электроснабжения предприятия.

Важным фактором, также является определения параметров окружающей среды и климата в месте размещения промышленного предприятия.

1.1 Описание технологического процесса промышленного предприятия

Объектом выпускной квалификационной работы (ВКР) является машиностроительное предприятие с группой литейных цехов. Группа литейных цехов предприятия включает в себя: сталелитейный цех, чугунолитейный цех.

Объект ВКР производит оборудования для горно-обогатительных предприятий. Основным видом продукции являются шаровые мельницы, которые используются на горно-обогатительных предприятиях для измельчения руды. Для производства мелющих шаров на предприятии используется сталелитейный цех и шаропрокатный цех. Диаметры производимых мелющих шаров составляют от 100 до 120 мм, массой 4, 6 и 8 кг и производятся согласно ГОСТ 7524-2015.

Кроме стальных мелющих шаров для горно-обогажительных комбинатов предприятие производит легированные и низколегированные чугунные мелющие шары. Для этого на предприятии имеется чугунолитейный цех.

1.2 Состав предприятия

Единственная подстанция энергосистемы, способная обеспечить требуемый уровень мощности для электроснабжения машиностроительного предприятия является подстанция, расположенная в 18 км от предприятия. Питание системы электроснабжения машиностроительного предприятия может быть обеспечено только на напряжении 110 кВ. Мощность короткого замыкания на шинах подстанции в часы минимума нагрузки $U_{\min} = 400$ МВА, в часы максимума нагрузки $U_{\max} = 860$ МВА.

На рисунке **Ошибка! Источник ссылки не найден.** представлен генеральный план машиностроительного предприятия. На генеральном плане показано размещение цехов на предприятии. Обозначение цехов представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Обозначение цехов предприятия согласно генерального плана

Номер цеха на генеральном плане	Наименование цеха
1	Сталелитейный цех
2	Чугунолитейный цех
3	Компрессорная
4	Учебный корпус
5	Склад готовой продукции
6	Кузнечно-прессовый цех
7	Шаропрокатный цех
8	Ремонтно-механический цех
9	Термообрубной цех
10	Котельная
11	Модельный цех
12	Блок механических цехов
13	Заводоуправление
14	Кислородная станция

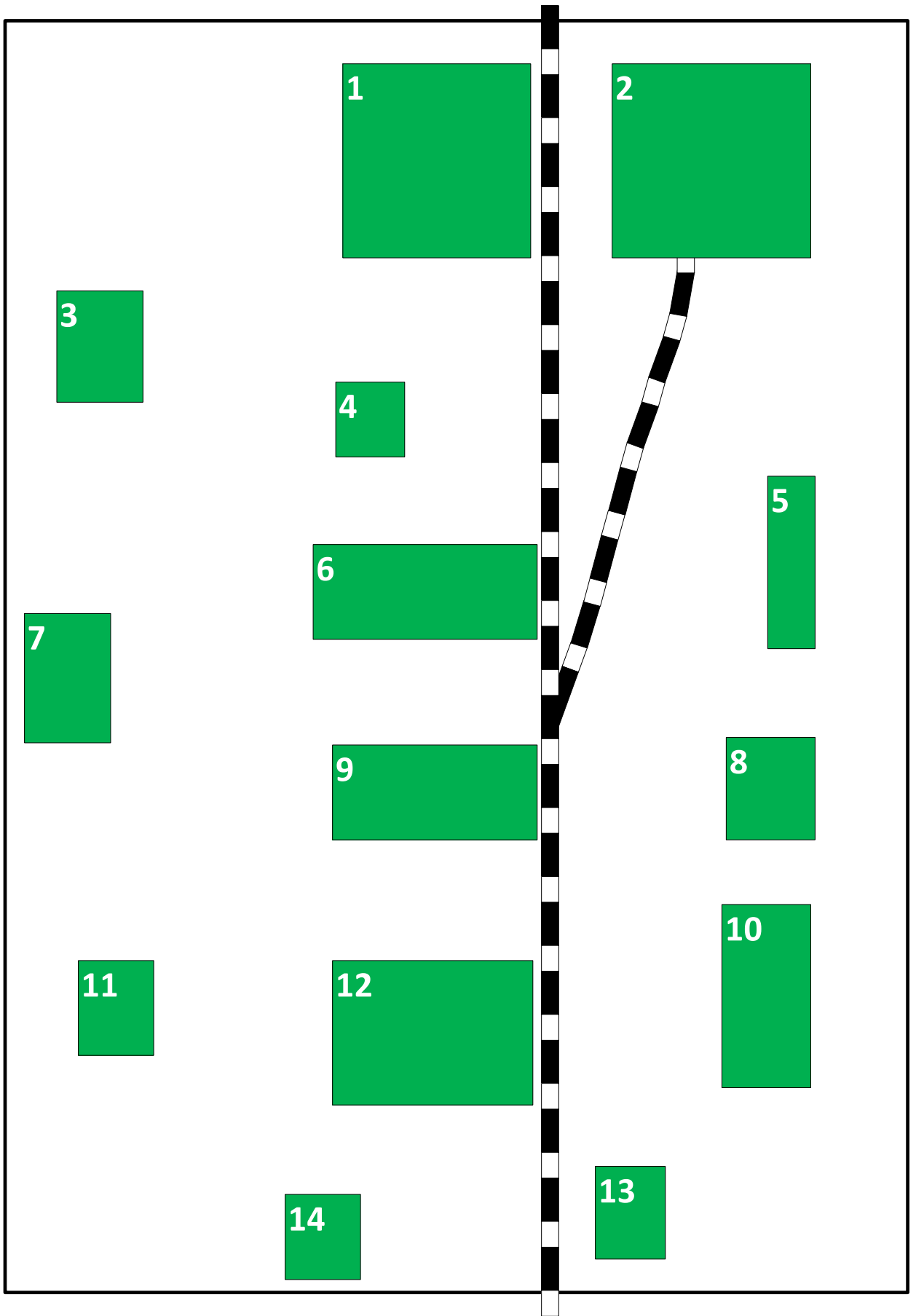


Рисунок 1 - Генплан размещения цехов предприятия (масштаб 1:1000)

На предприятии имеются электроприемники высокого напряжения. Перечень этих электроприемников представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень высоковольтных электроприемников предприятия

Тип высоковольтного потребителя электроэнергии	P_n , кВт	Q_n , квар	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	k_3	U_n , кВ	Число высоковольтных электроприемников
Электродуговые печи с печными трансформаторами	15000	37500	0,40	2,29	0,50	35	2
Синхронные электродвигатели чугунолитейного цеха	1000	540	0,88	0,54	0,70	6	4
Дуговые чугуноплавильные печи	2000	4150	0,4	2,29	0,5	6	2
Синхронные электродвигатели шаропркатного цеха	400	216	0,88	0,54	0,75	6	2

В каждом цеху предприятия имеются потребители, рассчитанные на напряжение ниже 1000 В. Согласно заданию, на выполнение ВКР, для всех цехов, определены установленные мощности и приведенное число электроприемников (таблица 3).

Таблица 3 – Данные по установленной мощности всех цехов предприятия

Наименование цеха	P_p , кВт	Q_p , квар	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$k_{н.ср}$	n_p	I_p , А
1	2	3	4	5	6	7	8
Сталелитейный цех	8589	13398	0,54	1,56	0,57	52	22970
Чугунолитейный цех	5423	9381	0,50	1,73	0,55	37	15639
Компрессорная	537	472	0,75	0,88	0,72	9	1031
Учебный корпус	496	372	0,80	0,75	0,82	53	894
Склад готовой продукции	47	38	0,78	0,80	0,33	3	87

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Кузнечно-прессовый цех	5322	6758	0,62	1,27	0,61	41	12415
Шаропрокатный цех	1419	1660	0,65	1,17	0,56	14	3152
Ремонтно-механический цех	951	789	0,77	0,87	0,50	17	1235
Термообрубной цех	1797	3228	0,48	1,83	0,55	17	5332
Котельная	647	659	0,70	1,02	0,68	12	1332
Модельный цех	2062	1649	0,78	0,80	0,54	38	3810
Блок механических цехов	2416	2754	0,66	1,14	0,63	48	5287
Заводоуправление	206	161	0,79	0,78	0,72	5	377
Кислородная станция	760	668	0,75	0,88	0,67	17	1460

1.3 Описание окружающей среды предприятия

Машиностроительное предприятие расположено в регионе Среднее Поволжье. Данный регион имеет следующие характеристики:

Рельеф: равнинный, преобладают низменности и всхолмлённые равнины.

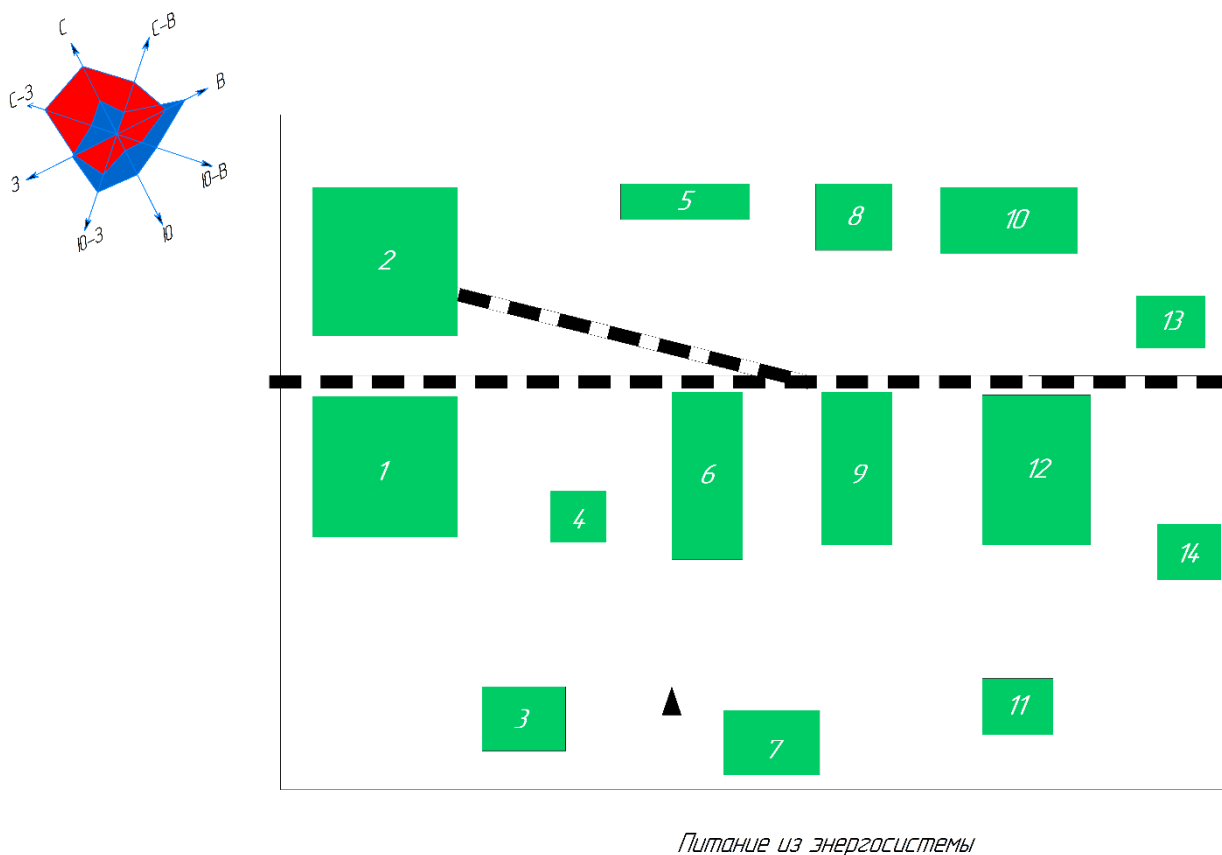
Климат: умеренно континентальный, т.е. лето тёплое, со среднемесячной температурой воздуха июля от +22° до +25°С; зима довольно холодная, среднемесячная температура воздуха января и февраля от -10° до -15°С.

Среднегодовое количество осадков: на севере 500—600 мм, на юге 200—300 мм.

Природные зоны: смешанный лес, лесостепь, степь.

Распределение ветровой нагрузки по предприятию представлено на рисунке Рисунок 2 согласно [4] для региона Среднее Поволжье. Данные на рисунке Рисунок 2 представлены для января (синяя область на розе ветров) и

июля (красная область на розе ветров). Кроме того, на рисунке Рисунок 2 показано направление питания от подстанции энергосистемы.



для июля – красный цвет, для января – синий цвет

Рисунок 2 - Распределение ветровой нагрузки по предприятию

Выводы по разделу 1:

1. Выполнена краткая характеристика предприятия с указанием места размещения и описанием производимой продукции.
2. Составлен генеральный план машиностроительного завода с указанием цехов и установленных мощностей для каждого из них.
3. Определены климатические характеристики района расположения машиностроительного предприятия.
4. Определен состав высоковольтных потребителей для машиностроительного предприятия.

2 Выбор числа и мощности цеховых и электропечных трансформаторов. Выбор компенсирующих устройств

2.1 Выбор цеховых трансформаторов

Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов необходим в первую очередь для расчета электрических нагрузок внутризаводской системы электроснабжения. Расчет производится в соответствии с [5].

Выполним выбор числа и мощности трансформаторов для сталелитейного цеха.

Воспользуемся выражением (1) взятым из [5]:

$$N_{\text{ТП}} = \frac{P_p}{k_3 \cdot S_{\text{Т.НОМ}}} \quad (1)$$

где $N_{\text{ТП}}$ – число трансформаторных подстанций;

P_p – расчетная нагрузка цеховых электроприемников на стороне 0,4 кВт;

k_3 – коэффициент загрузки трансформатора, для масляных трансформаторов принимается равным 0,7;

$S_{\text{Т.НОМ}}$ - установленная мощность выбранного трансформатора, кВА.

Примем к рассмотрению трансформатор типа ТМ-2500/6 производства ООО «Гольяттинский трансформатор». Определяем число трансформаторных подстанций (ТП) сталелитейного цеха по выражению (1):

$$N_{\text{ТП}} = \frac{8589}{0,7 \cdot 2500} = 4,9 \approx 5$$

Исходя из этого расчета, для обеспечения электроснабжения сталелитейного цеха необходимо пять ТП с общим числом трансформаторов десять штук.

Трансформаторы высоковольтных электропечей выбираются по стандартизованной шкале мощностей, выбирается наиболее близкое значение мощности печного трансформатора с учетом коэффициента загрузки к мощности электропечей [6]. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов остальных цехов выполняется по аналогии. Результаты выбора приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Число цеховых ТП машиностроительного завода по цехам

Наименование	Число ТП
Сталелитейный цех	5
Чугунолитейный цех	3
Компрессорная	1
Учебный корпус	1
Склад готовой продукции	1
Кузнечно-прессовый цех	3
Шаропрокатный цех	1
Ремонтно-механический цех	1
Термообрубной цех	1
Котельная	1
Модельный цех	1
Блок механических цехов	1
Заводоуправление	1
Кислородная станция	1

Таблица 4 – Число цеховых трансформаторов машиностроительного завода по цехам

Наименование	Мощность, тип, число трансформаторов,
1	2
Сталелитейный цех	ТМ-2500/6x10
Чугунолитейный цех	ТМ-2500/6x6
Компрессорная	ТМГ-630/6x2
Учебный корпус	ТМГ-630/6x2
Склад готовой продукции	ТМГ-63/6x2
Кузнечно-прессовый цех	ТМ-2500/6x6
Шаропрокатный цех	ТМ-2500/6x2
Ремонтно-механический цех	ТМ-2500/6x2
Термообрубной цех	ТМ-2500/6x2

Продолжение таблицы 4

1	2
Котельная	ТМГ-1600/6x2
Модельный цех	ТМ-2500/6x2
Блок механических цехов	ТМ-2500/6x2
Заводоуправление	ТМГ-400/6x2
Кислородная станция	ТМГ-1000/6x2

Данные расчета используются в дальнейшем при расчете электрических нагрузок машиностроительного завода.

2.2 Выбор электропечных трансформаторов

Выбор электропечных трансформаторов несколько отличается от выбора цеховых трансформаторов. Данное обстоятельство связано со специфичностью характера нагрузки дуговых электроплавильных печей (резкопеременный характер нагрузки).

Для выбора электропечных трансформаторов чугунолитейного цеха необходимо использовать выражение (2):

$$S_{\text{ЭПТ}} = k_{\text{п}} \cdot S_{\text{п}} \quad (2)$$

где $S_{\text{ЭПТ}}$ - мощность электропечного трансформатора, кВА;

$k_{\text{п}}$ – число ударных толчков в сутки, принимается равным 1,3;

$S_{\text{п}}$ - Мощность электропечи, кВА.

Теперь выполняем расчет мощности электропечных трансформаторов по выражению (2):

$$S_{\text{ЭПТ}} = 1,3 \cdot 5000 = 6500 \text{ кВА.}$$

По каталогу выбираем 2 электропечных трансформатора типа ЭТЦПК-7500/6 производства АО «Уралэлектротяжмаш».

2.3 Расчет активных и реактивных потерь мощности в цеховых трансформаторах

Используем формулу (3) для расчета активных потерь в цеховых трансформаторах [6]:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot k_3 \quad (3)$$

где ΔP_{Σ} - Суммарные активные потери активной мощности, кВт;

ΔP_{XX} - Потери холостого хода трансформатора, кВт;

ΔP_{K3} - Потери короткого замыкания, кВт.

Определим потери в трансформаторе одной из цеховых ТП сталелитейного цеха используя выражение (3):

$$\Delta P_{\Sigma} = 3,9 + 23,5 \cdot 0,7 = 20,35 \text{ кВт}$$

Реактивные потери мощности определяются следующим выражением (4):

$$\Delta Q_{\Sigma} = \left(\frac{I_0}{100} + k_3 \cdot \frac{U_K}{100} \right) \cdot S_H \quad (4)$$

где ΔQ_{Σ} - Потери реактивной мощности в трансформаторе, квар;

I_0 - Ток холостого хода трансформатора, %;

U_K - Напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Определим потери реактивной мощности в трансформаторе одной из цеховых ТП сталелитейного цеха используя выражение (4):

$$\Delta Q_{\Sigma} = \left(\frac{5,5}{100} + k_3 \cdot \frac{10,5}{100} \right) \cdot 2500 = 321,0 \text{ квар}$$

Расчет потерь для цеховых ТП других цехов выполняется по аналогии, результаты расчета приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета активных потерь мощности цеховых ТП машиностроительного завода

Наименование	Тип трансформатора	Активные потери мощности в трансформаторе, кВт	Реактивные потери мощности в трансформаторе, квар
1	2	3	4
Сталелитейный цех	ТМ-2500/6х10	20,35	321,0
Чугунолитейный цех	ТМ-2500/6х6	20,35	321,0
Компрессорная	ТМГ-630/6х2	6,01	210,1
Учебный корпус	ТМГ-630/6х2	6,01	210,1
Склад готовой продукции	ТМГ-63/6х2	1,24	16,4
Кузнечно-прессовый цех	ТМ-2500/6х6	20,35	321,0
Шаропрокатный цех	ТМ-2500/6х2	20,35	321,0
Ремонтно-механический цех	ТМ-2500/6х2	20,35	321,0
Термообрубной цех	ТМ-2500/6х2	20,35	321,0
Котельная	ТМГ-1600/6х2	12,36	293,6
Модельный цех	ТМ-2500/6х2	20,35	321,0
Блок механических цехов	ТМ-2500/6х2	20,35	321,0
Заводоуправление	ТМГ-400/6х2	11,45	196,6
Кислородная станция	ТМГ-1000/6х2	15,40	278,7

2.4 Выбор компенсирующих устройств

Компенсация реактивной мощности – это очень важное мероприятие как в системах внутризаводского электроснабжения, так и в системах электроснабжения общего назначения. Мероприятия по компенсации реактивной мощности позволяют снижать токовую нагрузку на линии электропередачи, повышать пропускную способность по активной мощности этих линий электропередачи [7].

Произведем выбор компенсирующих устройств для сталелитейного цеха. Используем выражения (5) и (6):

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot S_T \cdot N_T \cdot k_3)^2 - P_p^2} \quad (5)$$

где Q_T - максимальная реактивная мощность, которая может быть передана в цех через цеховые трансформаторы, квар.

Необходимая мощность батарей конденсаторов для компенсации реактивной мощности в цеховой сети

$$Q_{БК} = Q_p - Q_T. \quad (6)$$

Определяем необходимую мощность батарей конденсаторов для компенсации реактивной мощности сталелитейного цеха с применением выражений (5) и (6):

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot 2500 \cdot 10 \cdot 0,7)^2 - 8589^2} = 17227 \text{ квар}$$
$$Q_{БК} = 13398 - 17227 = -3829 \text{ квар}$$

В цеховой сети сталелитейного цеха компенсация реактивной мощности не требуется. Для остальных цехов расчет проводится аналогично. Результаты расчета сведены в таблицу 6.

Данные представленные в таблице 6 необходимы при расчете нагрузок в целом по внутризаводской системе электроснабжения.

Таблица 6 – Выбранные компенсирующие устройства для цеховых ТП

Наименование	Необходима я мощность БК, квар	Выбранные БК, наименование и количество	Реактивная мощность потребляемая цехом с учетом БК, квар
1	2	3	4
Сталелитейный цех	-3829	-	13398
Чугунолитейный цех	816	УКРМ-850х1	8565
Компрессорная	336	УКРМ-375х1	136
Учебный корпус	461	УКРМ-475х1	89
Склад готовой продукции	46	УКРМ-48,6х1	8
Кузнечно-прессовый цех	3429	УКРМ-2000х2	3266
Шаропрокатный цех	-1918	-	1660
Ремонтно-механический цех	-2941	-	789
Термообрубной цех	177	УКРМ-180х1	3051
Котельная	-1718	-	659
Модельный цех	1602	УКРМ-2000х1	47
Блок механических цехов	243	УКРМ-250х1	2511
Заводоуправление	-419	-	161
Кислородная станция	671	УКРМ-800х1	3

Выводы по разделу 2:

1. Выполнен расчет мощности и выбор числа цеховых трансформаторов системы электроснабжения машиностроительного предприятия.
2. Выполнен выбор электропечных трансформаторов типа ЭТЦПК-7500/6 для металлургических цехов машиностроительного предприятия.
3. Выполнен расчет потерь активной мощности в цеховых трансформаторах.
4. Выполнен выбор типа и мощности компенсирующих устройств для каждого из цехов машиностроительного предприятия.

3 Разработка схемы электроснабжения промышленного предприятия и выбор класса напряжения внутриводской системы электроснабжения

Схема электроснабжения является одним из наиболее важных этапов разработки проекта электроснабжения промышленного предприятия. От качества разработки этой схемы зависит надежность электроснабжения потребителей, простота в эксплуатации системы электроснабжения, расход материалов при монтаже системы электроснабжения и наконец денежные затраты [8].

Перед тем как начинать разработку схемы электроснабжения машиностроительного завода нам необходимо вычислить центр электрических нагрузок. Вблизи этого центра необходимо располагать главную понизительную подстанцию (ГПП).

Определим с применением [6] центр электрических нагрузок. Используем следующие формулы (7), (8):

$$X_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot x_i}{\sum P_{pi}}, \quad (7)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot y_i}{\sum P_{pi}}, \quad (8)$$

где X_0 - координата по оси абсцисс, в которой находится центр электрических нагрузок, м;

Y_0 - координата по оси ординат, в которой находится центр электрических нагрузок, м.

P_{pi} – установленная активная мощность цеха промышленного предприятия, кВт;

x_i - координата по оси абсцисс, в которой находится цех, м;

y_i - координата по оси ординат, в которой находится цех, м.

Теперь используя генеральный план предприятия и данные таблиц 2 и 3 вычислим центр электрических нагрузок машиностроительного завода по вышеуказанным выражениям:

Сначала определяем координату X_0 :

$$\begin{aligned}
 X_0 &= \frac{(8589 \cdot 0,52) + (5423 \cdot 0,52) + (537 \cdot 0,43) + (496 \cdot 0,41)}{8589 + 5423 + 537 + 496} = \\
 &= \frac{(47 \cdot 0,34) + (5322 \cdot 0,32) + (1419 \cdot 0,28) + (1419 \cdot 0,23) +}{+47 + 5322 + 1419 + 1419 +} = \\
 &= \frac{(1797 \cdot 0,23) + (647 \cdot 0,14) + (2062 \cdot 0,12) + (2416 \cdot 0,12) +}{+1797 + 647 + 2062 + 2416 +} = \\
 &= \frac{(206 \cdot 0,037) + (760 \cdot 0,025)}{+1797 + 760} = 0,34 \text{ км}
 \end{aligned}$$

Теперь определяем координату Y_0 :

$$\begin{aligned}
 Y_0 &= \frac{(8589 \cdot 0,20) + (5423 \cdot 0,33) + (537 \cdot 0,044) + (496 \cdot 0,17) +}{8589 + 5423 + 537 + 496 +} = \\
 &= \frac{(47 \cdot 0,36) + (5322 \cdot 0,20) + (1419 \cdot 0,029) + (1419 \cdot 0,35) +}{+47 + 5322 + 1419 + 1419 +} = \\
 &= \frac{(1797 \cdot 0,19) + (647 \cdot 0,35) + (2062 \cdot 0,051) + (2416 \cdot 0,19) +}{+1797 + 647 + 2062 + 2416 +} = \\
 &= \frac{(206 \cdot 0,29) + (760 \cdot 0,14)}{+1797 + 760} = 0,19 \text{ км}
 \end{aligned}$$

Таким образом, центр электрических нагрузок лежит в кузнечнопрессовом цехе. Исходя из этого, мы можем разместить главную понизительную подстанцию машиностроительного завода в непосредственной близости от линии электропередачи по которой поступает мощность на машиностроительный завод. Стоит отметить, что это дает преимущество в том плане, что нет необходимости вести высоковольтную линию по территории предприятия до главной понизительной подстанции.

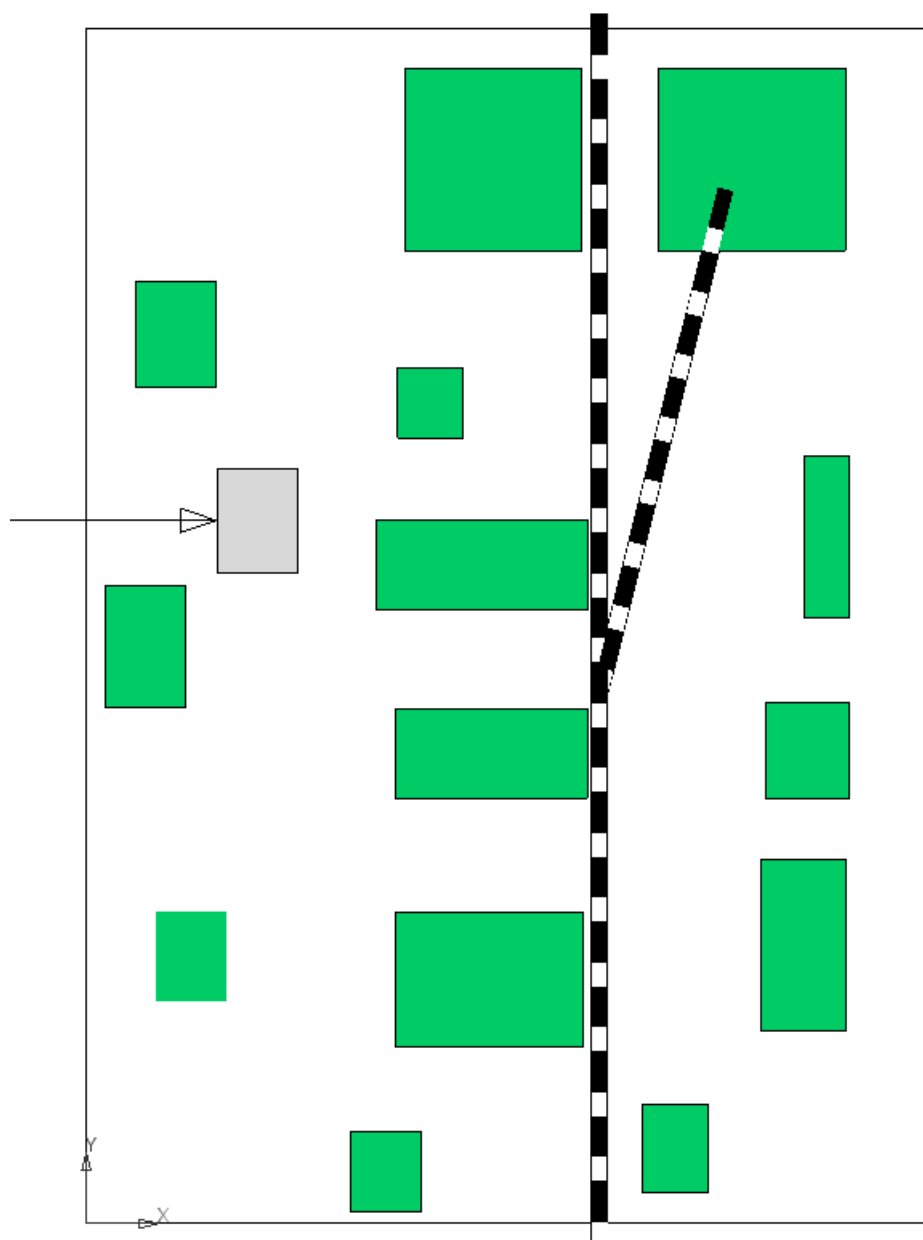


Рисунок 3 – Расположение ГПП на территории машиностроительного завода

Теперь, зная месторасположение ГПП, мы можем начинать разработку схемы электроснабжения рассматриваемого нами машиностроительного завода. Из таблицы 2 нам известно, что на машиностроительном предприятии имеются высоковольтные электроприемники. Высоковольтные электроприемники имеются в сталелитейном, чугунолитейном и шаропрокатном цехах (на плане под номерами 1, 2, 7 соответственно). Шаропрокатный цех находится в непосредственной близости от ГПП и имеет всего два высоковольтных электроприемника, исходя из этих данных, эти

электроприемники целесообразно запитать непосредственно с шин низшего напряжения ГПП. Сталелитейный и чугунолитейный цехи имеют значительно большее число высоковольтных электроприемников, имеют значительное число цеховых ТП, а также сами цеха находятся на удалении от ГПП. В таком случае, применим вариант системы внутривозовского электроснабжения с применением распределительного пункта (РП), который следует расположить вблизи сталелитейного и чугунолитейного цехов. Это позволит снизить число присоединений на ГПП. В таблицах 7 и 8 приведены наименования питающих линий от ГПП и РП-1.

Таблица 7 - Питающие линии от ГПП до РП-1 и до цеховых подстанций и высоковольтных электроприемников

Номер присоединения	Наименование присоединения
1	2
1	РП-1
2	ТП-1
3	ТП-2
4	ТП-3
5	ТП-4
6	СД-1 ШПЦ
7	СД-2 ШПЦ
8	ДЧП-1
9	ДЧП-2

Таблица 8 - Питающие линии от РП-1 до цеховых ТП и высоковольтных электроприемников

Номер присоединения	Наименование присоединения
1	2
1	ТП-6 СЛЦ
2	ТП-7 СЛЦ
3	ТП-8 СЛЦ
4	ТП-9 ЧЛЦ
5	СД-1 ЧЛЦ
6	СД-2 ЧЛЦ
7	ТП-10 КПЦ

Для организации электроснабжения электропечей сталелитейного цеха необходимо сооружение отдельного распределительного устройства класса напряжения 35 кВ. Это обстоятельство продиктовано тем, что внутризаводская система электроснабжения имеет напряжение 6 кВ, электропечи сталелитейного цеха рассчитаны на напряжение 35 кВ, именно поэтому, помимо распределительного устройства класса напряжения 6 кВ необходимо распределительное устройство класса напряжения 35 кВ.

Выводы по разделу 3:

1. Определен центр электрических нагрузок машиностроительного предприятия необходимый для определения места расположения главной понизительной подстанции.

2. Исходя из расположения расчетного центра электрических нагрузок определено месторасположения ГПП, оно смещено в сторону питающей линии, так как на месте расчетного центра электрических нагрузок разместить ГПП невозможно, на этом месте расположено здание цеха.

3. Для проектируемой системы электроснабжения машиностроительного предприятия выбран вариант питания высоковольтных потребителей через распределительный пункт – РП-1.

4. Определен перечень электроприемников и линий, их питающих от проектируемого распределительного пункта.

4 Расчет электрических нагрузок машиностроительного завода

Расчет электрических нагрузок является основополагающим этапом при выполнении проекта промышленного предприятия. Выходные данные этого расчета необходимы для последующих этапов проектирования системы электроснабжения промышленного предприятия: расчета токов короткого замыкания, выбора силовых трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций, выбора силовых трансформаторов главной понизительной подстанции, выбора высоковольтных и низковольтных коммутационных аппаратов, выбора проводов кабелей и шин. При расчете электрических нагрузок необходимо использовать стандарты, разработанные научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом «Тяжпромэлектропроект» [9], [10]. Входными данными для расчета выступают наименования и расположение электроприемников, их количество, установленная мощность каждого электроприемника, коэффициенты использования каждого электроприемника.

Выполним расчет электрических нагрузок машиностроительного завода с применением [9] и [10].

Электрические нагрузки цеховых электроприемников класса напряжения 0,4 кВ нам уже известны заранее. Электрические нагрузки электроприемников класса напряжения 6 кВ нам также известны, поэтому мы можем сразу приступить к расчету электрических нагрузок в целом по заводу.

Сначала определим среднесменные активную и реактивную мощности высоковольтных электроприемников по выражениям (9) и (10):

$$P_c = k_3 \cdot P_p \quad (9)$$

$$Q_c = k_3 \cdot Q_p \quad (10)$$

где P_c – среднесменная активная мощность высоковольтного электроприемника, кВт;

Q_c – среднесменная реактивная мощность высоковольтного электроприемника, квар;

k_3 – коэффициент загрузки, определяемый по таблице 2.

Определяем среднесменные активную и реактивную мощности высоковольтных синхронных электродвигателей шаропркатного цеха по выражениям (9) и (10):

$$P_c = 0,75 \cdot 400 = 300 \text{ кВт}$$

$$Q_c = 0,75 \cdot 216 = 162 \text{ квар}$$

Полная мощность высоковольтных электроприемников определяется по выражению (11):

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} \quad (11)$$

где S_c - Среднесменная полная мощность высоковольтных электроприемников, кВА;

Определяем полную мощность высоковольтных синхронных электродвигателей шаропркатного цеха по выражению (11):

$$S_c = \sqrt{300^2 + 162^2} = 340 \text{ кВА}$$

Теперь определим ток высоковольтных электроприемников по выражению (12):

$$I = \frac{S_c}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (12)$$

где I – ток высоковольтных электроприемников, А;

U - напряжение высоковольтных электроприемников сети, кВ.

С применением выражения (12) определяем ток высоковольтных синхронных электродвигателей шаропрокатного цеха:

$$I = \frac{340}{\sqrt{3} \cdot 6} = 33 \text{ А}$$

Результаты расчета остальных высоковольтных электроприемников приведены в таблице 9.

Теперь определим расчетные активную и реактивную мощности электроприемников присоединенных к шинам 6 кВ РП-1 по выражениям (13) и (14):

$$P_p = k_{и} \cdot P_c \quad (13)$$

$$Q_p = k_{и} \cdot Q_c \quad (14)$$

где P_p – асчетная активная мощность цехов, присоединенных к шинам РП-1, кВт;

Q_p – Расчетная реактивная мощность цехов, присоединенных к шинам РП-1, квар;

$k_{и}$ - Коэффициент одновременности.

Определяем расчетные активную и реактивную мощности электроприемников присоединенных к шинам 6 кВ РП-1 (13) и (14):

$$P_p = 0,95 \cdot 20734 = 19697 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 0,95 \cdot 26792 = 25452 \text{ квар}$$

Расчетная полная мощность электроприемников на шинах РП-1:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (15)$$

где S_p - полная мощность электроприемников присоединенных к шинам, кВА.

Определяем с применением выражения (15) полную мощность электроприемников присоединенных к шинам РП-1:

$$S_p = \sqrt{19697^2 + 25452^2} = 32183 \text{ кВА}$$

Ток на шинах РП-1 по выражению (16):

$$I = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (16)$$

где I – ток электроприемников, А;

U - напряжение на шинах РП-1, кВ.

По (16) рассчитаем ток на шинах цеховой ТП:

$$I = \frac{32183}{\sqrt{3} \cdot 6} = 3096 \text{ А}$$

Определение расчетных активных и реактивных мощностей и токов для ГПП проводится аналогичным образом. Результаты расчетов сведены в таблицу 9.

Выводы по разделу 4:

1. Выполнен расчет электрических нагрузок машиностроительного завода на стороне 0.4 кВ.
2. Выполнен расчет электрических нагрузок высоковольтных электроприемников машиностроительного предприятия.
3. Составлена расчетная ведомость нагрузок по всему машиностроительному предприятию.

Таблица 9 – Результаты расчета нагрузок по внутризаводской системе электроснабжения в целом

Наименование	k_o	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
1	3	4	5	6	7
ГПП					
РП-1	0,95	19697	25452	32183	3096
ТП-1	0,65	2452	1885	3092	297
ТП-2	0,61	966	829	1272	122
ТП-3	0,71	760	668	1011	97
ТП-4	0,43	647	659	923	88
СД-1 ШПЦ	0,70	700	540	884	85
СД-2 ШПЦ	0,70	700	540	884	85
ДЧП-1	0,50	1000	2075	2303	241
ДЧП-2	0,50	1000	2075	2303	241
Σ	0,90	24499	31250	40396	3960
РП-1					
ТП-6 СЛЦ	0,57	1717	4466	4784	460
ТП-7 СЛЦ	0,57	1717	4466	4784	460
ТП-8 СЛЦ	0,57	5151	13398	14354	1381
ТП-9 ЧЛЦ	0,55	5423	8568	10139	975
СД-1 ЧЛЦ	0,70	700	378	795	76
СД-2 ЧЛЦ	0,70	700	378	795	76
ТП-10 КПЦ	0,61	5322	3266	6244	600
Σ	0,95	19697	25452	32183	3096
ГПП (сторона 35 кВ)					
ЭСП СЛЦ	0,75	15000	37500	40388	667

5 Выбор трансформаторов главной понизительной подстанции машиностроительного завода

Выполним выбор мощности трансформаторов для главной понизительной подстанции (ГПП). Критерии выбора:

- расчетная мощность потребителей, подключенных к рассматриваемой ГПП;
- число используемых во внутризаводской системе электроснабжения предприятия классов напряжений.

Из исходных данных для проектирования нам известно, что на рассматриваемом нами машиностроительном заводе используется 2 класса напряжений для внутризаводского электроснабжения: 35 и 6 кВ. Класс напряжения 35 кВ необходим для питания электропечных трансформаторов, расположенных на территории сталелитейного цеха. Остальная часть внутризаводской системы электроснабжения работает на напряжении 6 кВ. Исходя из этого нам становится понятно, что на ГПП необходимо применение трехобмоточных трансформаторов с обмоткой высшего напряжения 110 кВ, среднего – 35 кВ и низшего – 6 кВ. Для того, чтобы определить необходимую мощность силового трансформатора с учетом возможной перегрузки в случае отключения одного из трансформаторов ГПП используем выражение (17):

$$S_T = 1,4 \cdot S_p \quad (17)$$

где S_T – необходимая мощность силового трансформатора, кВА.

Мощность трансформаторов ГПП по (17):

$$S_T = 1,4 \cdot 40396 = 56554 \text{ кВА}$$

По каталогу выбираем два силовых трансформатора типа ТДТН-63000/110.

6 Выбор типа линий электропередачи внутризаводской системы электроснабжения и способа их прокладки

Выбор типа линий электропередачи внутризаводской системы электроснабжения является важным шагом. От выбранного типа линий электропередачи зависит безопасность эксплуатационного персонала машиностроительного завода [11].

Как нам понятно из генерального плана, застройка промышленного предприятия не обладает густотой, на предприятии нет рисков разлива агрессивных жидкостей. Соответственно, наиболее целесообразным будет применение кабельных линий [21]. При выборе кабельных линий необходимо учитывать вопросы экономичности и пожарной безопасности, поэтому будем использовать кабели с алюминиевыми жилами в поливинилхлоридной (ПВХ) изоляции [12]. Медные кабели будем использовать только в том случае, если нет алюминиевого кабеля с подходящим сечением.

Выбор кабелей будем производить по длительно допустимому току [1].

Выполним выбор кабеля для участка ГПП-ТП-1, а также способ его прокладки. По генплану заметно, что кабельная линия наиболее целесообразно прокладываться в земле [22]. Ток этого участка составляет 297 А. Из таблицы допустимого тока кабелей с алюминиевыми жилами в ПВХ изоляции с учетом прокладки кабеля в земле выбираем ближайшее значение тока. Это значение составляет 335 А, сечение такого кабеля составляет 150 мм². По каталогу выбираем кабель АВБВ 3х150/25л-6 производства ООО «Севкабель». Длина участка согласно генеральному плану составляет 85 метров.

Определим потерю напряжения в кабельной линии ГПП-ТП-1:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R \cdot l + Q_p \cdot X \cdot l}{U} \quad (18)$$

где ΔU – абсолютная потеря напряжения, В;

R – погонное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

l – длина кабельной линии, км;

X – погонное реактивное сопротивление кабеля, Ом/км.

По (18) получим:

$$\Delta U(\%) = \frac{P_p \cdot R \cdot l + Q_p \cdot X \cdot l}{U^2} \quad (19)$$

где $\Delta U(\%)$ – относительная потеря напряжения, %.

Теперь с помощью выражений (18) и (19) вычислим абсолютную и относительную потерю напряжения в кабельной линии ГПП-ТП-1:

$$\Delta U = \frac{2452 \cdot 0,206 \cdot 0,085 + 1885 \cdot 0,143 \cdot 0,085}{6} = 11 \text{ В}$$

$$\Delta U(\%) = \frac{2452 \cdot 0,206 \cdot 0,085 + 1885 \cdot 0,143 \cdot 0,085}{6^2} = 2 \%$$

Из данных выражений видно, что на этой кабельной линии потеря напряжения не значительна. Выбор кабелей для остальных участков определяется аналогично, результаты выбора сведены в таблицу 10.

Таблица 10 - Результаты выбора кабелей для внутрив заводской системы электроснабжения машиностроительного завода

Наименование участка	Марка кабеля	Длительно допустимый ток кабеля, А	Длина участка, км	Способ прокладки	Абсолютная потеря напряжения, В	Относительная потеря напряжения, %
1	2	3	4	5	6	7
ГПП-ТП-1	АВБВ 3x150/25 л-б	335	0,085	в земле	11	2,0
ТП-1-ТП-11	АВБВ 3x120/25 л-б	295	0,082	в земле	11	2,0

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7
ТП-11-ТП-12	АВБВ 3х70/25л-6	210	0,083	в земле	15	2,5
ГПП-ТП-2	АВБВ 3х35/25л-6	140	0,134	в земле	21	3,0
ТП-2-ТП-13	АВБВ 3х25/25л-6	115	0,182	в земле	23	3,0
ТП-13-ТП-14	АВБВ 3х25/25л-6	115	0,083	в земле	13	2,0
ГПП-ТП-3	АВБВ 3х35/25л-6	140	0,324	в земле	53	4,6
ТП-3-ТП-15	АВБВ 3х16/25л-6	90	0,157	в земле	5	0,9
ГПП-ТП-4	АВБВ 3х16/25л-6	90	0,330	в земле	31	3,8
ТП-4-ТП-16	АВБВ 3х16/25л-6	90	0,092	в земле	14	2,2
ТП-16-ТП-17	АВБВ 3х16/25л-6	90	0,029	в земле	7	0,6
ГПП-СД-1 ШПЦ	АВБВ 3х16/25л-6	90	0,129	в земле, под полом	6	0,6
ГПП-СД-2 ШПЦ	АВБВ 3х16/25л-6	90	0,129	в земле, под полом	6	0,6
ДЧП-1	АВБВ 3х95/25л-6	255	0,380	в земле, под полом	55	4,8
ДЧП-2	АВБВ 3х95/25л-6	255	0,380	в земле, под полом	55	4,8
РП-1-ТП-6 СЛЦ	ВББШВ 3х185-1	500	0,135	в земле, под полом	38	4,1
РП-1-ТП-7 СЛЦ	ВББШВ 3х185-1	500	0,145	в земле, под полом	39	4,1

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7
РП-1-ТП-8 СЛЦ	2х ВББШВ 3х185-1	2х500	0,155	в земле, ПОД ПОЛОМ	43	4,6
ТП-8 СЛЦ- ТП-18 СЛЦ	ВББШВ 3х185-1	500	0,026	ПОД ПОЛОМ	19	2,9
ТП-18 СЛЦ- ТП-19 СЛЦ	ВББШВ 3х185-1	500	0,024	ПОД ПОЛОМ	19	2,9
ТП-9 ЧЛЦ	2х ВББШВ 3х185-1	2х500	0,072	в земле	42	4,6
ТП-9 ЧЛЦ- ТП-20 ЧЛЦ	АВБВ 3х70/25л-6	210	0,053	в земле	31	3,8
ТП-20 ЧЛЦ- ТП-21 ЧЛЦ	АВБВ 3х70/25л-6	210	0,053	в земле	31	3,8
СД-1 ЧЛЦ	АВБВ 3х16/25л-6	90	0,075	в земле, ПОД ПОЛОМ	10	0,8
СД-2 ЧЛЦ	АВБВ 3х16/25л-6	90	0,075	в земле, ПОД ПОЛОМ	10	0,8
РП-1-ТП-10 КПЦ	2х ВББШВ 3х185-1	500	0,114	в земле	45	4,6
ТП-10 КПЦ- ТП-22 КПЦ	АВБВ 3х185/25л- 6	385	0,045	в земле	42	4,5
ТП-22 КПЦ- ТП-23 КПЦ	АВБВ 3х50/25л-6	175	0,045	в земле	41	4,4
ГПП-ЭСП СЛЦ	2х ВББШВ 3х185-1	2х500	0,150	в земле, ПОД ПОЛОМ	53	4,7

Выводы по разделу б:

1. Выбраны типы и марки кабелей для внутренней системы электроснабжения машиностроительного предприятия.
2. Выбранные сечения кабелей проверены на потерю напряжения.
3. Составлена ведомость кабельных линий с указанием способов прокладки по территории машиностроительного предприятия.

7 Расчет токов короткого замыкания внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода

7.1 Расчет токов короткого замыкания в общезаводской системе электроснабжения

Расчет токов короткого замыкания (ТКЗ) необходим в первую очередь для выбора коммутационных аппаратов внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода [13].

Расчет ТКЗ будем проводить с применением [14].

Перед расчетом ТКЗ необходимо составить схему замещения. Схема замещения представлена на рисунке 4.

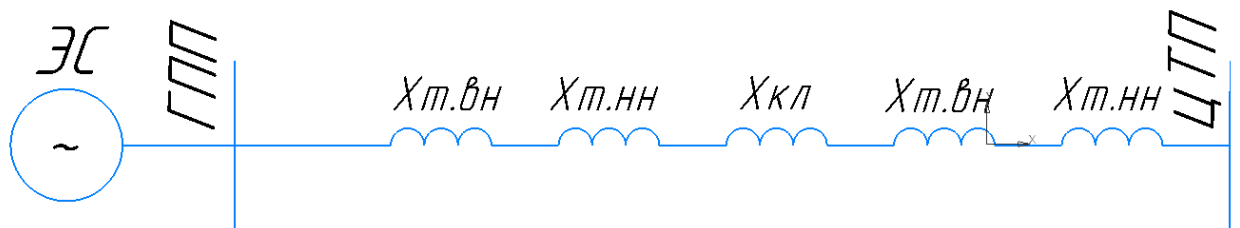


Рисунок 4 – Схема замещения для расчета ТКЗ в общезаводской системе электроснабжения

Выполним расчет токов КЗ для участка ГПП-ТП-1 от шин 110 кВ ГПП до шин 0,4 кВ ТП-1. Расчет ведем в именованных единицах.

Сначала необходимо определить сопротивление питающей энергосистемы с помощью выражения (20):

$$x_c = \frac{U_c^2}{S_k} \quad (20)$$

где x_c – сопротивление питающей энергосистемы, Ом;

U_c^2 - напряжение энергосистемы, кВА.

Определяем сопротивление питающей энергосистемы с помощью выражения (20):

$$x_c = \frac{115^2}{860000} = 0,01 \text{ Ом}$$

Теперь определим сопротивление обмотки ВН силового трансформатора ГПП по выражению (21):

$$x_{\text{тр.вн}} = 0,125 \cdot x_{\text{т}} \quad (21)$$

где $x_{\text{тр.вн}}$ – сопротивление обмотки ВН силового трансформатора, Ом;

$x_{\text{т}}$ – Сопротивление силового трансформатора, Ом.

Определяем сопротивление обмотки ВН силового трансформатора ГПП по выражению (21):

$$x_{\text{тр.вн}} = 0,125 \cdot 0,45 = 0,05 \text{ Ом}$$

Определим сопротивление обмотки НН силового трансформатора ГПП по выражению (22):

$$x_{\text{тр.нн}} = 1,75 \cdot x_{\text{т}} \quad (22)$$

где $x_{\text{тр.нн}}$ – Сопротивление обмотки НН силового трансформатора, Ом.

Определяем сопротивление обмотки НН силового трансформатора ГПП по выражению (22):

$$x_{\text{тр.нн}} = 1,75 \cdot 0,45 = 0,78$$

Определим сопротивление кабельной линии ГПП-ТП-1 с применением выражения (23):

$$x_{\text{кл}} = x_{\text{уд}} \cdot l \quad (23)$$

где $x_{\text{кл}}$ – сопротивление кабельной линии, Ом;

$x_{\text{уд}}$ - Удельное сопротивление кабельной линии, Ом/км.

Определяем сопротивление кабельной линии ГПП-ТП-1 с применением выражения (23):

$$x_{\text{кл}} = 0,143 \cdot 0,085 = 0,01 \text{ Ом}$$

Теперь определим сопротивление обмотки ВН цехового трансформатора ТП-1 по выражению (21):

$$x_{\text{тр.вн}} = 0,125 \cdot 3,8 = 0,5 \text{ Ом}$$

Сопротивление обмотки НН цехового трансформатора ТП-1 составит (22):

$$x_{\text{тр.нн}} = 1,75 \cdot 3,8 = 6,65 \text{ Ом}$$

Теперь рассчитанные сопротивления нужно сложить чтобы получить совокупное сопротивление рассматриваемого участка (24):

$$x_{\Sigma} = x_{\text{с}} + x_{\text{тр.вн}} + x_{\text{тр.нн}} + x_{\text{кл}} + x_{\text{тр.вн}} + x_{\text{тр.нн}} \quad (24)$$

где x_{Σ} - Совокупное сопротивление рассматриваемого участка, Ом.

Определяем совокупное сопротивление рассматриваемого участка (24):

$$x_{\Sigma} = 0,01 + 0,05 + 0,78 + 0,01 + 0,05 + 6,65 = 7,55 \text{ Ом}$$

Теперь определим ток трехфазного КЗ на шинах 0,4 кВ ТП-1. Для определения тока трехфазного КЗ на шинах 0,4 кВ ТП-1 используем выражение (25):

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{с}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}} \quad (25)$$

где $I_{\text{к}}^{(3)}$ – Ток трехфазного КЗ на шинах 0,4 кВ ТП-1, А.

Определяем ток КЗ на шинах 0,4 кВ ТП-1 используем выражению (25):

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 7,55} = 458 \text{ А}$$

Теперь определим значение ударного тока КЗ с применением выражения (26):

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{к}}^{(3)} \cdot K_{\text{уд}} \quad (26)$$

где $i_{\text{уд}}$ - ударный ток КЗ, А;

$K_{\text{уд}}$ – Ударный коэффициент.

Для того чтобы определить ударный коэффициент необходимо использовать выражение (27):

$$K_{\text{уд}} = 1 + e^{\frac{0,01}{T_a}} \quad (27)$$

где T_a - постоянная времени, с.

Определяем ударный коэффициент по выражению (27):

$$K_{уд} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,01}} = 3,71$$

Теперь мы можем определить ударный ток КЗ по выражению (26):

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 458 \cdot 3,71 = 2395 \text{ A}$$

Определим апериодическую составляющую тока КЗ по выражению (27):

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot I_{к}^{(3)} \quad (28)$$

Определяем апериодическую составляющую тока КЗ для участка ГПП-ТП-1 по выражению (28):

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot 458 = 645 \text{ A}$$

7.2 Расчет токов короткого замыкания на участках, имеющих синхронные машины

На рассматриваемом нами машиностроительном заводе имеются крупные синхронные электродвигатели, которые также должны быть учтены при расчете ТКЗ.

Расчет токов КЗ на участках, имеющих электрические машины имеет свои особенности [15]. На схемах замещения электрические машины представляются сверхпереходными ЭДС. На рисунке 5 приведена схема замещения для расчета ТКЗ на участке с синхронной машиной.

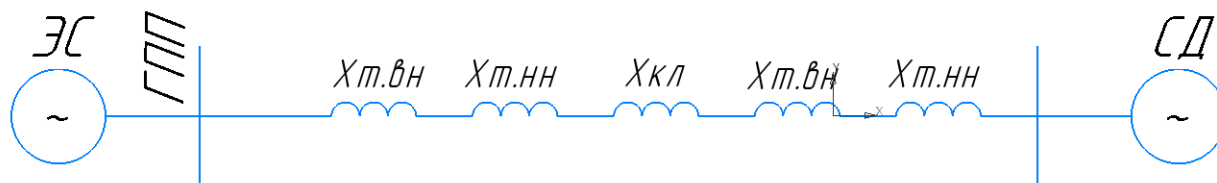


Рисунок 5 – Схема замещения для расчета ТКЗ на участке, имеющем синхронные машины

Значение сверхпереходной ЭДС синхронной машины определяется выражением (29):

$$E''_{*q} = \sqrt{1 + 2 \cdot x''_{*d} \cdot \sin \varphi_0 + x''_{*d}{}^2} \quad (29)$$

где E''_{*q} - Сверхпереходная ЭДС, о.е.;

x''_{*d} - Сверхпереходное сопротивление, о.е.;

φ_0 - Угол мощности электрической машины в номинальном режиме.

Сверхпереходное сопротивление синхронной машины определяется выражением (30):

$$x''_{*d} = \frac{1}{K_{п}} \quad (30)$$

где $K_{п}$ - Кратность пускового тока синхронного электродвигателя.

Ток КЗ на участке, имеющем синхронную машину будет определяться выражением (31):

$$I_{к}^{(3)} = \frac{E''_q}{\sqrt{3} \cdot x''_d + x_{\Sigma}} \quad (31)$$

Как понятно из выражения (30), при расчете ТКЗ на участке с синхронным электродвигателем следует учитывать не только

сверхпереходное сопротивление самой машины, но и сопротивления остальных элементов участка.

Для того, чтобы перевести сверхпереходную ЭДС в именованные единицы необходимо использовать выражение (32):

$$E''_q = E''_{*q} \cdot U_c \quad (32)$$

где E''_q - сверхпереходная ЭДС в именованных единицах, В.

Для того, чтобы перевести сверхпереходное сопротивление в именованные единицы из о.е. необходимо использовать выражение (33):

$$x''_d = x''_{*d} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} \quad (33)$$

где x''_d - сверхпереходное сопротивление в именованных единицах, Ом;
 $U_{\text{НОМ}}^2$ - номинальное напряжение синхронного электродвигателя, кВ;
 $S_{\text{НОМ}}$ - номинальная полная мощность синхронного электродвигателя, кВА.

Теперь мы можем определить ток КЗ на участке, имеющем синхронный двигатель. Определим ТКЗ для участка на котором находится синхронный электродвигатель СД-1 ЧЛЦ.

Определяем сверхпереходное сопротивление по выражению (30):

$$x''_{*d} = \frac{1}{7} = 0,14 \text{ о. е.}$$

Теперь определяем сверхпереходную ЭДС СД-1 ЧЛЦ по выражению (29):

$$E''_{*q} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,14 \cdot \sin 0,7 + 0,14^2} = 1 \text{ о. е.}$$

Переводим сверхпереходную ЭДС из о.е. в именованные единицы с применением выражения (32):

$$E_q'' = 1 \cdot 6 = 6000 \text{ В}$$

С применением выражения (33) переводим сверхпереходное сопротивление синхронного электродвигателя из о.е. в именованные единицы:

$$x_d'' = 0,14 \cdot \frac{6^2}{1000} = 0,005 \text{ Ом}$$

Теперь мы можем получить значение ТКЗ СД-1 ЧЛЦ применяя выражение (31):

$$I_k^{(3)} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 0,005 + 0,85} = 4080 \text{ А}$$

Теперь определим ударный коэффициент синхронного электродвигателя СД-1 ЧЛЦ с применением выражения (27):

$$K_{уд} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,1}} = 2,1$$

Теперь по выражению (26) определяем ударный ток КЗ синхронного электродвигателя СД-1 ЧЛЦ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 4080 \cdot 2,1 = 12080 \text{ А}$$

Теперь для данного синхронного электродвигателя определим апериодическую составляющую тока КЗ по выражению (27):

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot 4080 = 5769 \text{ А}$$

Токи КЗ для остальных участков определяются по аналогии. Результаты расчета токов КЗ внутривародской системы электроснабжения машиностроительного завода приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты расчета ТКЗ

Наименование участка	Значение ТКЗ, А	Значение ударного ТКЗ, А	Значение аperiodической составляющей ТКЗ, А
ГПП-РП-1	8999	19888	12444
ГПП-ТП-1	458	2391	645
ТП-1-ТП-11	111	1211	210
ТП-11-ТП-12	109	1111	222
ГПП-ТП-2	422	2395	667
ТП-2-ТП-13	101	999	203
ТП-13-ТП-14	98	981	199
ГПП-ТП-3	388	2221	656
ТП-3-ТП-15	110	1345	333
ГПП-ТП-4	460	2898	660
ТП-4-ТП-16	118	1400	301
ТП-16-ТП-17	120	1450	296
ГПП-СД-1 ШПЦ	3279	11980	5476
ГПП-СД-2 ШПЦ	3279	11980	5476
ДЧП-1	4567	15450	7656
ДЧП-2	4567	15450	7656
РП-1-ТП-6 СЛЦ	471	3001	677
РП-1-ТП-7 СЛЦ	470	2998	689
РП-1-ТП-8 СЛЦ	471	3001	700
ТП-8 СЛЦ-ТП-18 СЛЦ	121	1113	231
ТП-18 СЛЦ-ТП-19 СЛЦ	125	1127	305
ТП-9 ЧЛЦ	399	2989	599
ТП-9 ЧЛЦ-ТП-20 ЧЛЦ	129	1545	477
ТП-20 ЧЛЦ-ТП-21 ЧЛЦ	126	1500	321
СД-1 ЧЛЦ	4080	12080	5769
СД-2 ЧЛЦ	4080	12080	5769
РП-1-ТП-10 КПЦ	402	3569	702
ТП-10 КПЦ-ТП-22 КПЦ	201	1788	541
ТП-22 КПЦ-ТП-23 КПЦ	200	1788	241
ГПП-ЭСП СЛЦ	4676	13556	7656

Выводы по разделу 7:

1. Выполнен расчет токов короткого замыкания для проектируемой системы электроснабжения машиностроительного предприятия.

8 Выбор электрических аппаратов внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода

Выбор электрических аппаратов является заключительным пунктом. Выбор электрических аппаратов производится только после разработки схемы внутризаводского электроснабжения, расчета электрических нагрузок в целом по внутризаводской системе электроснабжения, а также расчета токов короткого замыкания в этой системе внутризаводского электроснабжения [16], [17], [18].

Главными критериями для выбора электрических аппаратов являются значения номинальных напряжений внутризаводской системы электроснабжения, расчетные токи цехов, расчетные токи короткого замыкания участков, номинальные напряжения внутризаводской системы электроснабжения.

8.1 Выбор высоковольтных коммутационных аппаратов

В рассматриваемой нами внутризаводской системе электроснабжения в качестве высоковольтных коммутационных аппаратов выступают выключатели.

Выполним выбор выключателя для РП-1 для присоединения РП-1-ТП-6 СЛЦ. Для начала определим полный расчетный ток КЗ выключателя с применением выражения (34):

$$i = I_{\text{к}}^{(3)} + i_a \quad (34)$$

где, i - полный ток КЗ, А;

$I_{\text{к}}^{(3)}$ - периодическая составляющая тока КЗ, А;

i_a - Аперриодическая составляющая тока КЗ, А.

Определяем полный расчетный ток КЗ для присоединения РП-1-ТП-6 СЛЦ по выражению (34):

$$i = 471 + 677 = 1148 \text{ A}$$

С применением выражения (35) рассчитываем тепловой импульс при воздействии тока КЗ:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{к}}^{(3)2} \cdot \tau \quad (35)$$

где $B_{\text{к}}$ - асчетный тепловой импульс, $\text{A}^2/\text{с}$;

τ - Время отключения, принимается равным 0,07 (для вакуумных выключателей), с.

Рассчитываем тепловой импульс при воздействии тока КЗ по выражению (35):

$$B_{\text{к}} = 471^2 \cdot 0,07 = 15528 \text{ A}^2/\text{с}$$

По каталогу выбираем выключатель типа ВВУ-СЭЩ-10 производства АО «Электроцит Самара». Сравниваем расчетные параметры с номинальными для выбранного нами выключателя:

$$\begin{aligned} i &< i_{\text{НОМ}} = 1148 < 42300 \\ B_{\text{к}} &< B_{\text{кНОМ}} = 15528 < 28000000 \\ I_{\text{р}} &< I_{\text{НОМ}} = 297 < 1000 \end{aligned}$$

Выбранный выключатель удовлетворяет требованиям, которые заданы расчетными данными.

Выбор остальных выключателей выполняется по аналогии. Результаты выбора приведены в таблице 12.

8.2 Выбор трансформаторов тока для внутривародской системы электроснабжения машиностроительного завода

Трансформатор тока – электрический аппарат, предназначенный для снижения тока до значения приемлемого для использования в цепях измерения, сигнализации и защиты.

Таблица 12 – Результаты выбора коммутационных аппаратов внутривародской системы электроснабжения машиностроительного завода

Наименование	Присоединение	U _{ном} , кВ	I _{ном} , А	I _p , А	B _{кном} , А ² /с	B _к , А ² /с	i, кА	i _{ном} , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ГПП	РП-1	6	1000	3096	28·10 ⁶	152,7	18,9	42,3
	ТП-1		1000	297	28·10 ⁶	15,5	1,0	42,3
	ТП-2		1000	1223	28·10 ⁶	19,8	1,2	42,3
	ТП-3		1000	97	28·10 ⁶	16,1	1,0	42,3
	ТП-4		1000	88	28·10 ⁶	16,4	1,0	42,3
	СД-1 ШПЦ		1000	85	28·10 ⁶	99,8	9,2	42,3
	СД-2 ШПЦ		1000	85	28·10 ⁶	99,8	9,2	42,3
	ДЧП-1		1000	241	28·10 ⁶	102,3	10,8	42,3
	ДЧП-2		1000	241	28·10 ⁶	102,3	10,8	42,3
	ЭСП-СЛЦ	35	1000	667	28·10 ⁶	104,6	12,4	42,3
РП-1	ТП-6 СЛЦ	6	1000	460	28·10 ⁶	15,5	1,1	42,3
	ТП-7 СЛЦ		1000	460	28·10 ⁶	20,5	2,0	42,3
	ТП-8 СЛЦ		2000	1381	28·10 ⁶	13,4	0,9	42,3
	ТП-9 ЧЛЦ		1000	975	28·10 ⁶	12,6	0,9	42,3
	СД-1 ЧЛЦ		1000	76	28·10 ⁶	100,0	10,0	42,3
	СД-2 ЧЛЦ		1000	76	28·10 ⁶	100,0	10,0	42,3
	ТП-10 КПЦ		1000	600	28·10 ⁶	15,0	1,1	42,3

Трансформаторы тока выбираются по следующим критериям:

- 1) Номинальное напряжение;

- 2) Номинальный ток первичной обмотки;
- 3) Электродинамическая стойкость к токам КЗ;
- 4) Термическая стойкость к токам КЗ.

Выполним выбор трансформатора тока для присоединения РП-1-ТП-6 СЛЦ.

Выбираем к рассмотрению трансформатор тока типа ТПЛ-СЭЦ-10 производства АО «Электроцит-Самара». Выполним сравнение расчетных параметров присоединения РП-1-ТП-6 СЛЦ с номинальными параметрами:

$$I_p < I_{\text{НОМ1}} = 297 < 3000$$

$$I_{\text{уд}} < I_{\text{эс}} = 3001 < 40000$$

$$B_k < B_{\text{НОМ}} = 15528 < 112000000$$

Выбранный нами трансформатор тока для присоединения РП-1-ТП-6 СЛЦ удовлетворяет требованиям, которые заданы расчетными данными. В таблице 13 приведены результаты выбора трансформаторов тока для внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода.

Таблица 13 - Результаты выбора трансформаторов тока

Наименование	Присоединение	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$I_{\text{НОМ1}}$, А	$I_{\text{НОМ2}}$, А	$I_{\text{эс}}$, кА	$B_{\text{кНОМ}}$, А ² /с	B_k , А ² /с
1	2	3	4	5	6	7	8
ГПП	РП-1	6	3000	5	40	112000	152,7
	ТП-1		400	5	40	112000	15,5
	ТП-2		1500	5	40	112000	19,8
	ТП-3		150	5	40	112000	16,1
	ТП-4		150	5	40	112000	16,4
	СД-1 ШПЦ	6	150	5	40	112000	99,8
	СД-2 ШПЦ	6	150	5	40	112000	99,8
	ДЧП-1		300	5	40	112000	102,3
	ДЧП-2		300	5	40	112000	102,3
	ЭСП-СЛЦ	35	1000	5	40	112000	104,6

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5	6	7	8
РП-1	ТП-6 СЛЦ	6	600	5	40	112000	15,5
	ТП-7 СЛЦ		600	5	40	112000	20,5
	ТП-8 СЛЦ		2000	5	40	112000	13,4

8.3 Выбор трансформаторов напряжения для внутривозводской системы электроснабжения машиностроительного завода

Трансформатор напряжения – это электрический аппарат, обеспечивающий приемлемый уровень напряжения для использования последнего в цепях измерения, сигнализации и защиты.

Для выбора трансформаторов напряжения необходимо определить расчетную полную мощность приборов и устройств, подключенных ко вторичным обмоткам трансформатора напряжения. Делается это при помощи выражения (36):

$$S_{\text{приб.}\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} \quad (36)$$

где $S_{\text{приб.}\Sigma}$ - полная мощность подключенных ко вторичной обмотке трансформатора напряжения приборов и устройств, кВА;

$P_{\text{приб.}\Sigma}$ - активная мощность подключенных ко вторичной обмотке трансформатора напряжения приборов и устройств, кВт;

$Q_{\text{приб.}\Sigma}$ - реактивная мощность подключенных ко вторичной обмотке трансформатора напряжения приборов и устройств, квар.

Другим важным критерием для выбора трансформаторов напряжения являются класс напряжения.

По (36) полная мощность подключенных приборов и устройств ко вторичной обмотке трансформатора напряжения РП-1:

$$S_{\text{приб.}\Sigma} = \sqrt{0,66^2 + 0,30^2} = 0,72 \text{ кВА}$$

По каталогу выбираем трансформатор напряжения ЗНОЛ-СЭЩ-6 производства АО «Электроцит-Самара». Выполним сравнение расчетных параметров РП-1 с номинальными параметрами:

$$S_{\text{приб.}\Sigma} < S_{\text{приб.}\Sigma\text{ном}} = 0,72 < 0,8$$

Выбранный трансформатор напряжения удовлетворяет требованиям заданными расчетными данными. Выбор трансформаторов напряжения для ГПП выполняется аналогично. В таблице 14 показаны результаты выбора трансформаторов напряжений.

Таблица 14 – Результаты выбора трансформаторов напряжения

Наименование	U _{ном} , кВ	S _{приб.}\Sigma\text{ном}} , кВА	S _{приб.}\Sigma\text{расч}} , кВА
1	2	3	4
ГПП	6	0,8	0,78
	35	0,5	0,31
РП-1	6	0,8	0,72

Выводы по разделу

1. Выполнен выбор высоковольтных коммутационных аппаратов для внутренней системы электроснабжения машиностроительного предприятия и составлена ведомость оборудования.

2. Выполнен выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения для установки на главной понизительной подстанции и на распределительном пункте – РП-1.

9 Технико-экономическая эффективность проекта системы внутриводского электроснабжения машиностроительного завода

В этом разделе мы определяем стоимости потерь в кабельных линиях и трансформаторах. Этот шаг продиктован требованиями бережливого отношения к ресурсам, используемых в проектной и производственной деятельности [19]

9.1 Расчет стоимости потерь в кабельных линиях

Определим стоимость потерь активной мощности в кабельных линиях внутриводской системы электроснабжения машиностроительного завода применяя выражение (37) [20]:

$$C_{\text{кЛ}} = \Delta P_{\text{кЛ}} \cdot C \quad (37)$$

где $C_{\text{кЛ}}$ - Стоимость потерь, тыс. руб.;

C - Стоимость одного кВт активной мощности, тыс. руб.;

$\Delta P_{\text{кЛ}}$ - Потери активной мощности в кабеле, кВт.

Потери активной мощности в кабеле определяются выражением (38):

$$\Delta P_{\text{кЛ}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot r \quad (38)$$

Определяем потери активной мощности в кабельной линии РП-1-ТП-6 СЛЦ:

$$\Delta P_{\text{кЛ}} = \frac{1717^2 + 4466^2}{6^2} \cdot 0,0467 = 0,296 \text{ кВт}$$

С применением выражения (37) определяем стоимость потерь активной мощности в кабельной линии РП-1-ТП-6 СЛЦ:

$$C_{\text{кл}} = 0,296 \cdot 0,44 = 0,130 \text{ тыс. руб}$$

Теперь определим стоимость потерь активной электроэнергии в кабельных линиях внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода по выражению (39):

$$C_{\text{экл}} = \Delta P_{\text{кл}} \cdot \tau \cdot C_{\text{э}} \quad (39)$$

где $C_{\text{экл}}$ - стоимость потерь электроэнергии в кабельной линии, тыс. руб.;

τ - число часов максимальных потерь в год, ч;

$C_{\text{э}}$ - стоимость одного кВт·ч электроэнергии, кВт·ч.

Число часов максимальных потерь определяется выражением (40):

$$\tau = \left(0,124 \cdot \frac{T_{\text{М}}}{10000}\right)^2 \cdot T_{\text{Г}} \quad (40)$$

где, $T_{\text{М}}$ - Число часов пиковой нагрузки в год, ч;

$T_{\text{Г}}$ - Число часов в году, ч.

Определяем число часов максимальных потерь в кабельной линии РП-1-ТП-6 СЛЦ по выражению (40):

$$\tau = \left(0,124 \cdot \frac{6000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 48$$

С помощью выражения (39) определяем стоимость потерь активной электроэнергии в кабельной линии РП-1-ТП-6 СЛЦ:

$$C_{\text{экл}} = 0,296 \cdot 48 \cdot 0,07 = 0,99 \text{ тыс. руб.}$$

С помощью выражения (41) определим приведенные эксплуатационные затраты на кабельные линии внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода:

$$Z_{\text{кл}} = E \cdot (K \cdot l) + (C_{\text{кл}} + C_{\text{экл}}) \quad (41)$$

где $Z_{\text{кл}}$ - Приведенные эксплуатационные затраты на кабельные линии, тыс. руб.;

E - Нормативный коэффициент капиталовложений;

K - Стоимость одного км кабеля, тыс. руб.

Применяя выражение (41) определяем приведенные эксплуатационные затраты для кабельной линии РП-1-ТП-6 СЛЦ:

$$Z_{\text{кл}} = 0,33 \cdot (33 \cdot 0,135) + (0,130 + 0,99) = 1,87 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет потерь активных мощностей и электроэнергии и приведенных эксплуатационных затрат для остальных кабельных линий выполняется аналогичным образом. Результаты определения стоимости потерь приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты определения стоимости потерь

Наименование	$C_{\text{кл}}$, тыс. руб.	$C_{\text{экл}}$, тыс. руб.	$Z_{\text{т}}$, тыс. руб.
1	2	3	4
ГПП-ТП-1	0,140	0,108	1,26
ТП-1-ТП-11	0,136	0,105	1,29
ТП-11-ТП-12	0,128	0,98	1,28
ГПП-ТП-2	0,127	0,97	1,34
ТП-2-ТП-13	0,133	0,101	1,34
ТП-13-ТП-14	0,121	0,92	1,21
ГПП-ТП-3	0,123	0,95	1,18
ТП-3-ТП-15	0,127	0,98	1,17
ГПП-ТП-4	0,138	0,92	1,10

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4
ТП-4-ТП-16	0,131	0,99	1,20
ТП-16-ТП-17	0,128	0,97	1,21
ГПП-СД-1 ШПЦ	0,134	0,108	1,55
ГПП-СД-2 ШПЦ	0,134	0,108	1,55
ДЧП-1	0,159	0,110	3,56
ДЧП-2	0,159	0,110	3,56
РП-1-ТП-6 СЛЦ	0,130	0,99	1,87
РП-1-ТП-7 СЛЦ	0,130	0,99	1,85
РП-1-ТП-8 СЛЦ	0,126	0,98	1,87
ТП-8 СЛЦ-ТП-18 СЛЦ	0,127	0,98	2,12
ТП-18 СЛЦ-ТП-19 СЛЦ	0,125	0,96	2,13
ТП-9 ЧЛЦ	0,129	0,99	1,67
ТП-9 ЧЛЦ-ТП-20 ЧЛЦ	0,126	0,98	1,68
ТП-20 ЧЛЦ-ТП-21 ЧЛЦ	0,128	0,96	1,54
СД-1 ЧЛЦ	0,123	0,92	1,65
СД-2 ЧЛЦ	0,123	0,92	1,65
РП-1-ТП-10 КПЦ	0,139	0,108	1,71
ТП-10 КПЦ-ТП-22 КПЦ	0,137	0,107	1,23
ТП-22 КПЦ-ТП-23 КПЦ	0,136	0,107	1,23
ГПП-ЭСП СЛЦ	0,164	0,115	4,64

Далее определим стоимость потерь активных мощностей и электроэнергии в цеховых трансформаторах внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода.

9.2 Расчет стоимости потерь в цеховых трансформаторах

Для определения стоимости потерь активной мощности в цеховых трансформаторах воспользуемся выражением (42):

$$C_T = n_T \cdot \Delta P_T \cdot C \quad (42)$$

где C_T - стоимость потерь активной мощности в трансформаторах цеховой ТП, кВт;

n_T – Число трансформаторов цеховой ТП.

Применяя выражение (42) определяем стоимость потерь активной мощности в цеховых трансформаторах ТП-6 СЛЦ:

$$C_T = 2 \cdot 20,35 \cdot 0,44 = 17,98 \text{ тыс. руб.}$$

Теперь с помощью выражения (43) определим стоимость потерь активной электроэнергии в год в цеховых трансформаторах:

$$C_{ЭТ} = \Delta P_T \cdot \tau \cdot C_Э \quad (43)$$

где $C_{ЭТ}$ - стоимость годовых потерь электроэнергии в цеховых трансформаторах, тыс. руб.

Определяем стоимость годовых потерь активной электроэнергии в цеховых трансформаторах по выражению (43):

$$C_{ЭТ} = 20,35 \cdot 48 \cdot 0,07 = 68,30 \text{ тыс. руб.}$$

Определим приведенные эксплуатационные затраты на цеховые трансформаторные подстанции с применением выражения (44):

$$З_T = E \cdot K + (C_T + C_{ЭТ}) \quad (44)$$

где $З_T$ - Приведенные эксплуатационные затраты на цеховые трансформаторные подстанции, тыс. руб.

K - Стоимость цехового трансформатора, тыс. руб.

Определяем Приведенные эксплуатационные затраты на цеховые трансформаторные подстанции по выражению (44):

$$З_T = 0,33 \cdot 200 + (17,98 + 68,30) = 152,4 \text{ тыс. руб.}$$

Определение активных потерь мощности и электроэнергии и приведенных эксплуатационных затрат для остальных цеховых

трансформаторов выполняется аналогично. Результаты расчетов сведены в таблицу 16.

Таблица 16 – Результаты расчета

Наименование	С _т , тыс. руб.	С _{эт} , тыс. руб.	З _т , тыс. руб.
ТП-1	10,76	52,65	130,6
ТП-2	15,01	59,08	140,5
ТП-3	15,01	59,08	140,5
ТП-4	15,44	60,44	141,9
ТП-6 СЛЦ	17,98	68,30	152,4
ТП-7 СЛЦ	17,98	68,30	152,4
ТП-8 СЛЦ	17,98	68,30	152,4
ТП-9 ЧЛЦ	17,98	68,30	152,4
ТП-10 КПЦ	17,98	68,30	152,4
ТП-11	15,5	58,4	149,0
ТП-12	10,76	52,65	130,6
ТП-13	14,31	56,98	148,7
ТП-14	15,66	59,69	150,0
ТП-15	7,98	32,32	110,5
ТП-16	13,21	56,42	146,7
ТП-17	13,99	58,99	147,9
ТП-18 СЛЦ	17,98	68,30	152,4
ТП-19 СЛЦ	17,98	68,30	152,4
ТП-20 ЧЛЦ	17,98	68,30	152,4
ТП-21 ЧЛЦ	17,98	68,30	152,4
ТП-22 КПЦ	17,98	68,30	152,4
ТП-23 КПЦ	17,98	68,30	152,4

Выводы по разделу 9:

Выполнен расчет технико-экономических показателей спроектированной системы электроснабжения машиностроительного предприятия.

Заключение

Разработан проект системы внутризаводского электроснабжения машиностроительного завода с группой литейных цехов. При проектировании использовались актуальные стандарты и нормы проектирования внутризаводских систем электроснабжения.

На первом этапе проектирования выполнен расчет необходимой мощности цеховых трансформаторов, по данным расчета выбраны типы цеховых трансформаторов и их число для каждого цеха машиностроительного завода с группой литейных цехов. Все выбранные цеховые трансформаторы производства ООО «Тольяттинский трансформатор», мощности выбранных цеховых трансформаторов лежат в пределах от 60 кВА до 2500 кВА. На этом же этапе выполнен расчет необходимой мощности компенсирующих устройств. По результатам расчета необходимой мощности компенсирующих устройств выполнен выбор компенсирующих устройств. Все выбранные компенсирующие устройства производства ООО «Хомов Электро», мощности выбранных компенсирующих устройств лежат в пределах от 48,6 до 2000 квар.

Следующим этапом является определение центра электрических нагрузок для оптимального размещения главной понизительной подстанции, а также определение конфигурации внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода. В результате, наиболее оптимальной точкой размещения главной понизительной подстанции является место ввода воздушной линии электропередачи 110 кВ энергосистемы (на генплане ГПП размещается напротив шаропрокатного цеха). Конфигурация внутризаводской системы электроснабжения принята магистрально радиальной, с питанием части потребителей непосредственно от ГПП, а части потребителей через РП-1. Следующим этапом является расчет электрических нагрузок в целом по внутризаводской системе электроснабжения машиностроительного завода. Входными данными для этого расчета являются расчетные активные и реактивные нагрузки цехов, указанные в таблице 3. Выходными данными этого расчета являются расчетные электрические

нагрузки в целом по внутризаводской системе электроснабжения, позволяющие осуществить выбор трансформаторов главной понизительной подстанции, высоковольтных электрических аппаратов, а также выполнить расчет токов короткого замыкания. На следующем этапе выполнен выбор кабельных линий внутризаводской системы электроснабжения по критерию длительно допустимого тока. Нами выбраны кабели типов АВБВ (алюминий) и ВБбШв (медь), шкала выбранных сечений изменяется от 16 до 185 мм². Все выбранные кабели производства ООО «Севкабель». Далее нами проделан расчет токов короткого замыкания (определены периодическая составляющая, апериодическая составляющая, ударный ток КЗ) в общезаводской системе электроснабжения и на участках, имеющих синхронные электродвигатели. По результатам расчета наименьший ударный ток КЗ составляет 981 А, наибольший – 19888 А. На следующем этапе нами выполнен расчет параметров и выбор электрических аппаратов для внутризаводской системы электроснабжения: высоковольтных выключателей, трансформаторов тока и напряжения. Все выбранные выключатели унифицированы, для всех присоединений выбраны выключатели с одинаковым номинальным током и номинальным током отключения. Выбранные трансформаторы тока и напряжения не унифицированы, выбор номинальных параметров производился максимально близко к расчетным. Все выбранные электрические аппараты производства АО «Электрощит-Самара». На заключительном этапе нами проделан расчет технико-экономической эффективности проекта внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода. В результате расчета определены стоимости потерь активных мощностей и электроэнергии в элементах внутризаводской системы электроснабжения, а также подсчитаны эксплуатационные затраты внутризаводской системы электроснабжения машиностроительного завода. По полученным данным можно утверждать, что система внутризаводского электроснабжения машиностроительного завода отвечает современным требованиям экономичности.

Список используемых источников

1. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий. Методические указания к курсовому проектированию. Тольятти: ТГУ, 2006. 78 с.
2. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 28.02.2021).
3. ГОСТ 9680-77. Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВ·А и более. Ряд номинальных мощностей. М.: Издательство стандартов, 1977. 4 с.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. Москва: Интернет-Инжиниринг, 2006. 671 с.
5. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е издание. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2014. 607 с.
6. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. Учебное пособие. Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
7. Николаев В. Безаварийная и эффективная эксплуатация устройств компенсации реактивной мощности низкого напряжения // Я электрик. – 2009. – № 17. – С. 50–54.
8. НТП ЭПП-94. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс
9. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.
10. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М.: Академия, 2013. 449 с.
11. РТМ 36.18.32.6-92. Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения

промышленных предприятий. Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс

12. Сазыкин В.Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2017. 255 с.

13. Сафронов В.И. Электротехнологические установки. Учебное пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2014. 124 с.

14. Сивков А.А. Основы электроснабжения. Учебное пособие. Томск: Национальный исследовательский университет Томский политехнический университет, 2014. 184 с.

15. Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок, шифр М788-1069/ ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1990 г.

16. Степкина Ю.В., Салтыков В.М. Проектирование электрической части понизительной подстанции. Тольятти: ТГУ, 2007. 124 с.

17. Хрущев Ю.В. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических установках. Учебное пособие. Томск: Национальный исследовательский университет Томский политехнический университет, 2012. 160 с.

18. Geng Y. Three-phase modeling of 40.5-kV vacuum circuit breaker switching off shunt reactors and overvoltage suppression measure analysis. Electric Power Systems Research

19. Guo Y. Reignition overvoltages induced by vacuum circuit breakers and its suppression in offshore wind farms. International Journal of Electrical Power & Energy Systems

20. Hafner S. Emergence of New Economics Energy Transition Models: A Review. Ecological Economics

21. Liang R. Partial discharge location of power cables based on an improved single-terminal method. Electric Power Systems Research.

22. Seong M. Analysis of electric and magnetic fields distribution and safe work zone of 154 kV power line in underground power cable tunnel. Safety Science.