

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)

Цифровые технологии в электроэнергетике

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения промышленного предприятия
среднего машиностроения с применением интеллектуальных цифровых устройств

Обучающийся

С.А. Маловичко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Егорова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы выполнен расчет и разработка системы электроснабжения группы цехов основного производства машиностроительного завода. Для выполнения проекта электроснабжения на первом этапе выполнено описание и анализ объекта выпускной квалификационной работы. На основании этого выполнена группировка потребителей и цехов предприятия по категории надежности электроснабжения потребителей, а также выполнен расчет ожидаемых электрических нагрузок.

Выполнен выбор основного оборудования системы электроснабжения группы цехов основного завода среднего машиностроения, а также выполнен расчет токов короткого замыкания. Для защиты оборудования спроектированной системы электроснабжения выбраны интеллектуальные цифровые устройства релейной защиты производства ООО «НТЦ «Мехатроника» г. Санкт-Петербург.

Пояснительная записка выполнена на 71 листе формата А4, содержит 5 рисунков и 24 таблицы. Список используемых источников содержит 26 наименований из них 5 на английском языке. Графическая часть выпускной квалификационной работы выполнена на 6 листах формата А1 и отражает основные результаты, полученные в рамках выполнения выпускной квалификационной работы.

Abstract

The bachelor thesis aimed the calculation and design the power supply system for a main group of workshops of a machine-building enterprise.

Firstly, a power load calculation was made. The calculation was made for a mechanical workshop and then for a main group of workshops taking into account the results of a mechanical workshop.

Using the results of a first part the center of an active power loads was found. In a place of an active power loads was take a decision to place a Distribution Center with a high voltage class 10 kV.

The second part of a bachelor thesis is including the results of a high voltage equipment selection. The distribution transformers with a capacity of 2500 kVA were selected after calculation of a reactive power load compensation. For distribution grid with a voltage class 10 kV the cables with an XLPE insulation were selected.

The third part of a bachelor thesis show the results of a relay protection system calculation. The intelligence electronic devises with a function of a relay protection system were selected for a power supply system of a main group of workshops of a machine-building enterprise.

The result of a bachelor thesis is a modernly equipped with a Russian high voltage equipment, the power supply system of a main group of workshops of a machine-building enterprise.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика объекта выпускной квалификационной работы	7
2 Расчет электрических нагрузок	10
2.1 Расчет электрических нагрузок инструментального цеха	10
2.2 Расчет электрических нагрузок объекта ВКР	29
3 Проектирование внутризаводской распределительной сети	38
3.1 Картограмма нагрузок и определение мест размещения цеховых трансформаторных подстанций	38
3.2 Компенсация реактивной мощности во внутризаводской распределительной сети	42
3.3 Выбор трансформаторов внутризаводской системы электроснабжения	45
3.4 Выбор кабельных линий для питания распределительного пункта	50
4 Токи короткого замыкания и проверка оборудования	54
4.1 Расчетная схема и схема замещения для определения токов короткого замыкания.....	54
4.2 Расчет токов короткого замыкания	59
5 Выбор и расчет уставок цифровых интеллектуальных устройств релейной защиты	62
Заключение	66
Список используемой литературы.....	69

Введение

Развитие экономики страны невозможно без строительства и модернизации промышленных предприятий. Особую роль в производстве играют крупные промышленные предприятия, которые способствуют не только выпуску новой и современной продукции, но и стимулируют развитие более мелких предприятий обеспечивающих функционирование заводов в регионе их размещения.

Большую роль эффективном функционировании промышленных предприятий и в формировании стоимости выпускаемой продукции играет эффективно спроектированная система электроснабжения.

Эффективность систем электроснабжения обеспечивается не только обеспечением надежного и качественного электроснабжения потребителей промышленных предприятий, но и минимальным значением потерь электрической энергии [25].

Минимальные потери электрической энергии в сети промышленного предприятия определяются на этапе проектирования [26]. При этом необходимо учитывать технологический процесс не только всего предприятия, но и отдельных цехов. Кроме того, на этапе проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий необходимо выбирать оборудование, и места его размещения так, чтобы снизить затраты на его последующую эксплуатацию.

Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий с использованием современных методик и с выбором современного оборудования является драйвером развития промышленного сектора.

Объектом выпускной квалификационной работы является основное производство завода среднего машиностроения.

Предметом выпускной квалификационной работы является система электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения.

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы необходимо достичь цель: спроектировать систему электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения.

Для достижения поставленной в рамках выпускной квалификационной работы цели требуется решение следующих задач:

- выполнить описание объекта выпускной квалификационной работы и определить относящиеся к нему цеха;
- выполнить расчет электрических нагрузок объекта выпускной квалификационной работы с подробным расчетом нагрузок на стороне 0,4 кВ одного из цехов;
- выбрать оборудование системы электроснабжения объекта выпускной квалификационной работы;
- выполнить расчет токов короткого замыкания и выбрать интеллектуальные цифровые устройства защиты от аварийных ситуаций в спроектированной системе электроснабжения объекта выпускной квалификационной работы.

Выбор оборудования и расчет параметров системы электроснабжения необходимо выполнять на основании требований нормативной документации и правил устройства электроустановок [17], а также с опорой на публикации в научных изданиях.

1 Характеристика объекта выпускной квалификационной работы

Объект выпускной квалификационной работы расположен в Приволжском федеральном округе. Для региона размещения объекта ВКР – умеренно континентальный.

Генеральный план объекта выпускной квалификационной работы с указанием цехов, относящихся к нему представлен на рисунке 1, экспликация цехов относящихся к объекту выпускной квалификационной работы представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Состав объекта ВКР

Номер по плану	Наименование цеха	Площадь цеха, м ²	Число этажей
1	Компрессорная станция	3344	2
2	Инструментальный цех	3760	2
3	Сборочный цех	36960	4
4	Кузнечнопрессовый цех	30314	4
5	Центральный склад	9240	2
6	Сварочный цех	13860	3
7	Литейный цех	17260	2
8	Транспортный цех	9240	2
9	Инженерный корпус	18480	4
10	Административный корпус	18480	4

Объект выпускной квалификационной работы является основной частью завода среднего машиностроения. На предприятии выпускается и разрабатывается технологическое оборудование для предприятий легкого машиностроения, которые в свою очередь обеспечивают функционирование предприятий легкой и пищевой промышленности. Таким образом объект выпускной работы является важным звеном в технологической цепочке производства региона.

Номенклатура производимой продукции на объекте выпускной квалификационной работы достаточно широкая.

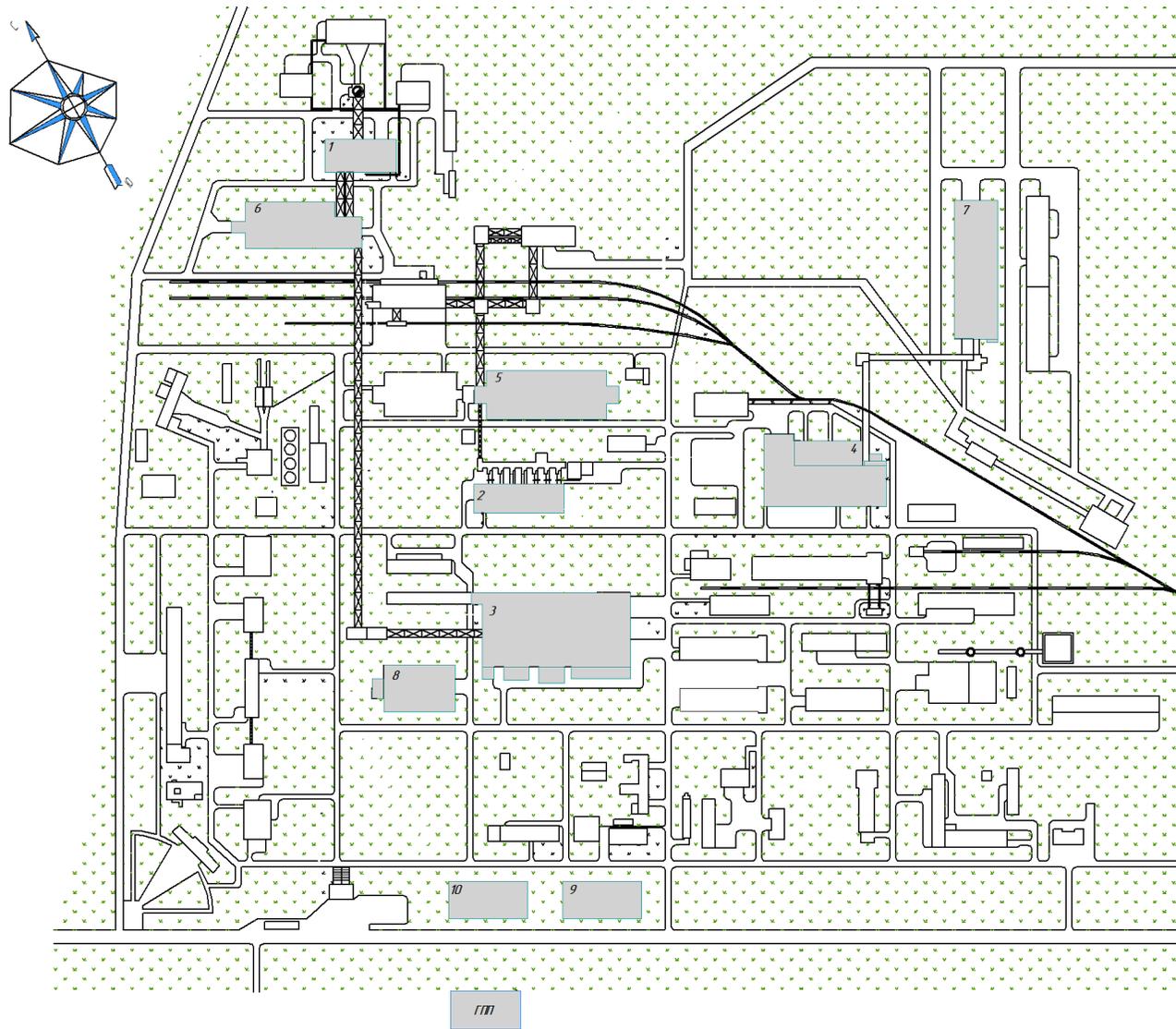


Рисунок 1 - Генеральный план основного производства завода среднего машиностроения

Среди производимой предприятием продукции можно выделить следующие позиции:

- металлообрабатывающие станки с числовым программным управлением (ЧПУ);
- металлорежущие станки;
- кузнечнопрессовое и гибочное технологическое оборудование
- оборудование для обработки листового металла.

Объект выпускной квалификационной работы является частью завода среднего машиностроения, в состав которого, помимо основного производства входят транспортные пути и объекты, обеспечивающие доставку покупных изделий на основное производство и отправку готовой продукции потребителям. На территории завода среднего машиностроения расположена главная понизительная подстанция (ГПП), которая обеспечивает питание всех потребителей завода среднего машиностроения и рассчитана на питание потребителей основного производства завода среднего машиностроения. На ГПП завода среднего машиностроения установлено два силовых трансформатора марки ТРДН с мощностью 25 МВА каждый с напряжением обмоток 110/10 кВ. Таким образом установленная мощность ГПП завода среднего машиностроения составляет 50 МВА. Питание основного производства завода среднего машиностроения запланировано от существующей ГПП, поэтому номинальное напряжение внутризаводской распределительной сети принято на уровне $U_{\text{ном.сети}} = 10$ кВ.

Вывод по разделу.

Определен генеральный план объекта выпускной квалификационной работы. Представлен состав цехов основного производства завода среднего машиностроения и дано описание производимой продукции.. Питание основного производства осуществляется от главной понизительной подстанции установленной мощностью 50 МВА.

2 Расчет электрических нагрузок

Для выбора оборудования системы электроснабжения группы основных цехов завода среднего машиностроения необходимо выполнить расчет электрических нагрузок в соответствии с действующими стандартизованными методиками. Подробный расчет электрических нагрузок выполняется для вспомогательного цеха – инструментального цеха. Расчет нагрузок для объекта ВКР выполнен по удельной мощности [1].

2.1 Расчет электрических нагрузок инструментального цеха

Инструментальный цех является вспомогательным цехом для группы цехов основного производства завода среднего машиностроения. Инструментальный цех занимается единичным и мелкосерийным выпуском различной технологической оснастки и инструмента для основных цехов. На данном заводе среднего машиностроения инструментальный цех выпускает: пресс-формы, штампы, грузоподъемную оснастку, резцы и т.д. Также цех занимается ремонтом покупного инструмента и оснастки: заточка шлифовальных дисков, восстановление защитных покрытий и т.д. Перечень оборудования инструментального цеха представлен в таблице 2, расположение оборудования и план инструментального цеха основного производства завода среднего машиностроения представлены на рисунке 2.

Для расчета электрических нагрузок инструментального цеха представим методику расчета [14] и подробный расчет для одного из электроприемников. Для каждого из электроприемников необходимо определить значения расчетной активной, реактивной и полной мощностей, а также значение расчетного тока [1]. Эти значения необходимы для выбора оборудования системы электроснабжения инструментального цеха.

Таблица 2 - Параметры технологического оборудования инструментального цеха

Номер оборудования на плане цеха	Наименование оборудования	Параметры привода оборудования			Параметры оборудования	
		Типоразмер электродвигателя	Мощность, кВт	КПД, %	$K_{и}$	$\cos\phi$
5	Токарный автомат	АИР160S4	25	89,5	0,14	0,5
		АИР132M4	21	87,5		
15-23,28,29,38, 39, 47	Токарный автомат	АИР132S4	21	87,5	0,14	0,5
40,41,60,61	Токарный автомат	АИР132M4	21	87,5	0,14	0,5
1,14,46,62	Настольно-сверлильный	АИР80A4	1,1	75	0,14	0,5
37	Радиально-сверлильный	АИР100S4	3	82	0,14	0,5
11,34,35,42	Вертикально-фрезерный	АИР100S4	3	82	0,14	0,5
30-33	Горизонтально-фрезерный	АИР100S4	3	82	0,14	0,5
36	Продольно-фрезерный	АИР132M4	11	87,5	0,17	0,65
58	Универсально-заточной	АИР112M4	5,5	87,5	0,14	0,5
25	Заточный	АИР132S4	3	87,5	0,41	0,5
27	Заточный	АИР112M4	3	87,5	0,31	0,5
13	Заточный	АИР100L4	3	85	0,41	0,5
57	Алмазно-заточной	АИР80B4	1,5	78	0,14	0,5
44,45	Приточная вентиляция	АИР100S4	10	82	0,82	0,65
43	Протяжный станок	АИР100S4	3	82	0,22	0,5
2	Пресс гидравлический	АИР160S4	15	89,5	0,17	0,65
54	Протяжный станок	АИР80B4	1,5	78	0,35	0,65
53	Координатно-расточный	АИР112M4	10	87,5	0,55	0,65
49,50	Резьбошлифовальный	АИР112M4	3,3	87,5	0,62	0,65
48	Вертикально-сверлильный	АИР112M4	5,5	87,5	0,35	0,65
51,52	Плоскошлифовальный	АИР100L4	4	85	0,35	0,65
4,7,8	Отрезной	АИР100L4	4	85	0,35	0,65
3,6	Горизонтально-расточной	АИР132M4	11	87,5	0,17	0,65
		АИР112M4	5,5	87,5		
		АИР80B4	1,5	78		

Продолжение таблицы 2

Номер оборудования на плане цеха	Наименование оборудования	Параметры привода оборудования			Параметры оборудования	
		Типоразмер электродвигателя	Мощность, кВт	КПД, %	$K_{и}$	$\cos\phi$
10	Отточная вентиляция	АИР132М4	10	87,5	0,82	0,65
		АИР112М4	5,5	87,5		
56	Заточной для пил	АИР112М4	5,5	87,5	0,14	0,5
12,55,59	Точильный	АИР80В4	0,8	78	0,35	0,65
24,26	Поперчно-строгальный	АИР100L4	4	85	0,17	0,65
63	Электрический мостовой кран	МТКФ211-6	7,5	74	0,56	0,5
		МТКФ112-6	3,5	67		
		МТКФ112-6	3,5	67		
9	Прессножницы	АИР100L4	4	85	0,17	0,5

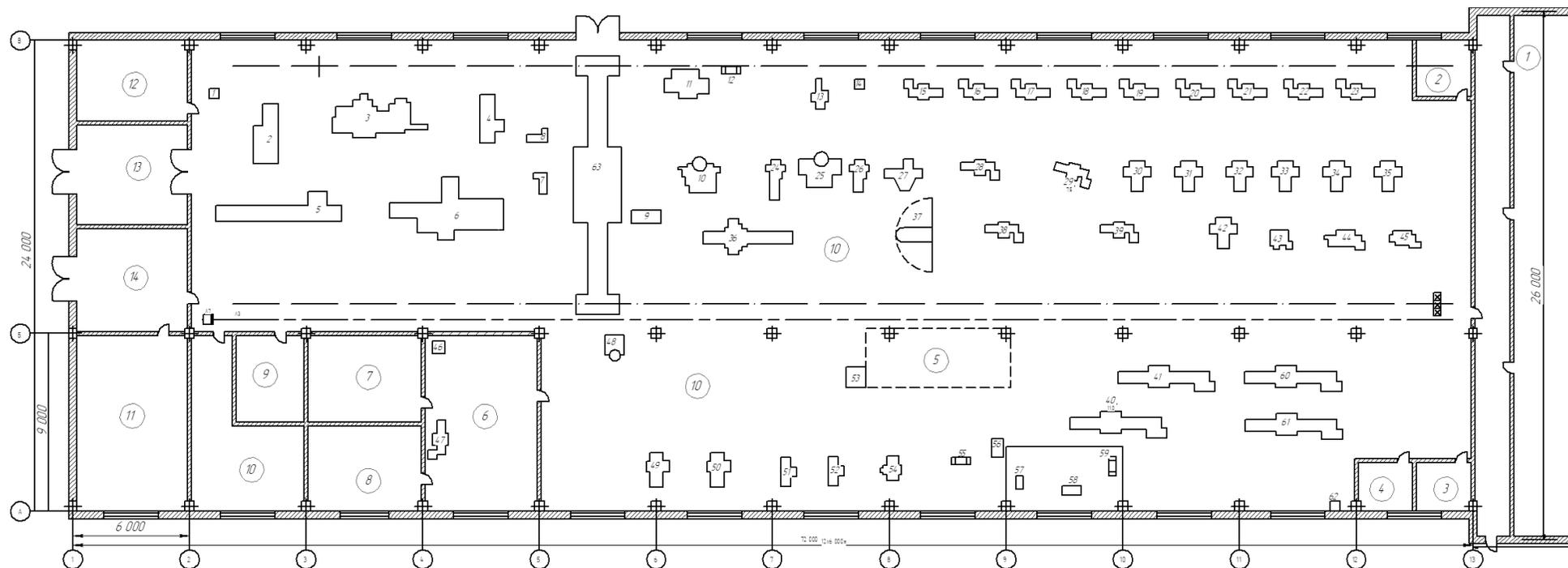


Рисунок 2 - План инструментального цеха машиностроительного завода с расположением технологического оборудования

Экспликация помещений инструментального цеха машиностроительного завода согласно рисунку 2 представлена в таблице 3.

Таблица 3 - Экспликация помещений инструментального цеха

Номер помещения на плане ремонтно-механического цеха	Наименование помещения
1	Бытовые помещения
2	Кабинет выдачи нарядов
3,7	Кладовая механика
4	Кабинет начальника участка
5	Склад готовых изделий
6	Мастерская
8	Комната мастеров
9	Склад
10	Отдел технического контроля
11	Отдел технологов
12	Помещение электрощитовой
13, 14	Тамбур
15	Помещение основного производства

Расчет мощности каждого вида технологического оборудования выполняется по данным таблицы 2 используя выражение:

$$P_{\text{ном}} = \sum_{i=1}^n p_{\text{ном.}i} \quad (1)$$

где n – количество электродвигателей входящих в технологическое оборудование, шт;

$p_{\text{ном.}i}$ – номинальная мощность i -го электродвигателя входящего в технологическое оборудование, принимается согласно таблице 2, кВт.

По выражению (1) выполним расчет для токарного автомата (позиция 5 рисунок 2):

$$P_{\text{ном.5}} = 25 + 21 = 46 \text{ (кВт)}$$

Эффективное число электроприемников [20] для технологического оборудования инструментального цеха определяется по выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{P_{\text{НОМ}}^2}{\sum_{i=1}^n p_{\text{НОМ},i}^2} \quad (2)$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – расчетное значение номинальной мощности технологического оборудования, определяемое выражением (1), кВт;

n – количество электродвигателей входящих в технологическое оборудование, шт.;

$p_{\text{НОМ},i}$ – номинальная мощность i -го электродвигателя входящего в технологическое оборудование, принимается согласно таблице 2, кВт.

По выражению (2) выполним расчет для токарного автомата (позиция 5 рисунок 2):

$$n_{\text{э},5} = \frac{46^2}{25^2 + 21^2} = 1,98$$

Для токарного автомата (позиция 5 рисунок 2) принимаем эффективное число электроприемников $n_{\text{э},5} = 2$. Учитывая значение эффективного числа электроприемников для токарного автомата, а также данные таблицы 2: коэффициент использования $K_{\text{и}} = 0,14$, по [20] определим значение расчетного коэффициента нагрузки $K_{\text{р}}$. Для токарного автомата (позиция 5 рисунок 2) $K_{\text{р}} = 4,33$.

Используя расчетный коэффициент нагрузки, а также значение коэффициента активной мощности ($\cos \varphi$) из таблицы 2 расчетная активная мощность технологического оборудования определяется по выражению:

$$P_{\text{расч}} = K_{\text{и}} \cdot K_{\text{р}} \cdot P_{\text{НОМ}} \quad (3)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования технологического оборудования, заданный в таблице 2;

$K_{\text{р}}$ – справочное значение расчетного коэффициента нагрузки определяемое по [20];

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность технологического оборудования, определяемая по данным таблицы 2 и выражению (1), кВт.

Для токарного автомата (позиция 5 рисунок 2) по выражению (3) получим:

$$P_{\text{расч.5}} = 0,14 \cdot 4,33 \cdot 46 = 27,89 \text{ (кВт)}$$

Для каждого технологического оборудования на этапе расчета электрических нагрузок необходимо также определить расчетное значение реактивной мощности. Расчетная реактивная мощность при эффективном числе электроприемников $n_{\text{э}} \leq 10$ определяется по выражению:

$$Q_{\text{расч}} = 1,1 \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg } \varphi \quad (4)$$

где $K_{\text{и}}$ - коэффициент использования технологического оборудования, заданный в таблице 2;

$P_{\text{ном}}$ – расчетное значение номинальной мощности технологического оборудования, определяемое выражением (1), кВт;

$\text{tg } \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, определяемый по значению $\cos \varphi$ из таблицы 2.

При эффективном числе электроприемников $n_{\text{э}} > 10$ расчетная реактивная мощность определяется по выражению:

$$Q_{\text{расч}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg } \varphi \quad (5)$$

Так как для токарного автомата эффективное число электроприемников $n_{э,5} = 2$, то для определения расчетной реактивной мощности используем выражение (4).

По (4) для токарного автомата (позиция 5 рисунок 2) с учетом коэффициента активной мощности $\cos \varphi = 0,5$ получим:

$$Q_{\text{расч.5}} = 1,1 \cdot 0,14 \cdot 46 \cdot \sqrt{3} = 48,24 \text{ (квар)}$$

Значение полной расчетной мощности для технологического оборудования определяется по выражению:

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

По (6) для токарного автомата (позиция 5 рисунок 2):

$$S_{\text{расч.5}} = \sqrt{27,89^2 + 48,24^2} = 55,72 \text{ (кВА)}$$

Расчетный ток для каждого вида технологического оборудования определяется по выражению:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (7)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение подключения технологического оборудования, кВ.

Для токарного автомата (позиция 5 рисунок 2) по (7) получим:

$$I_{\text{расч.5}} = \frac{55,72}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 80,52 \text{ (А)} \quad (8)$$

Для каждого вида технологического оборудования расчеты выполняются аналогично, результаты расчета сведем в таблицу 4.

Кроме технологического оборудования для инструментального цеха цеха завода среднего машиностроения необходимо выполнить расчет системы освещения с выбором типа и числа светильников. Для расчета системы освещения воспользуемся программой DIALuxEvo [18]. Данная программа распространяется свободно и может быть использована в проектировании. Программа DIALuxEvo позволяет загружать планы зданий и выполнять расчет освещения с учетом требований освещенности для каждого помещения, а также типом выбранных светильников. В программе DIALuxEvo для расчета освещения используются стандартные файлы светильников типа IES, которые доступны для свободного скачивания на официальных сайтах крупных производителей светотехнического оборудования. Для инструментального цеха воспользуемся светильниками производителя ООО «Волжский светотехнический завод» [8], так как каталоги этого производителя содержат подробную информацию по каждому типу выпускаемого светотехнического оборудования. Для помещения основного производства (позиция 15 таблица 3) высота потолка $H_{0.п.} = 8,4$ (м), для всех остальных помещений инструментального цеха высота потолка $H_{п} = 4,2$ (м).

Результаты расчета освещения по плану инструментального цеха представлены на рисунке 3.

Таблица 4 - Расчет электрической мощности технологического оборудования

Номер на плане	Наименование оборудования	Параметры привода оборудования		Параметры оборудования			Расчетные значения для одного приемника						
		Типоразмер электродвигателя	$P_{ном.i}$, кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	n , шт.	$P_{ном}$, кВт	$n_{э}$, шт.	K_p	$P_{расч}$, кВт	$Q_{расч}$, квар	$S_{расч}$, кВА	$I_{расч}$, А
5	Токарный автомат	АИР160S4	25	0,14	0,5	1	46	2	4,33	27,89	48,24	55,72	80,52
		АИР132М4	21										
15-23, 28, 29, 38, 39, 47	Токарный автомат	АИР132S4	21	0,14	0,5	14	294	1	4,33	178,22	308,3	356,13	514,6
40, 41, 60, 61	Токарный автомат	АИР132М4	21	0,14	0,5	4	84	1	4,33	50,92	88,09	101,75	147,1
1, 14, 46, 62	Настольно-сверлильный	АИР80А4	1,1	0,14	0,5	4	4,4	1	4,33	2,67	4,61	5,33	7,70
37	Радиально-сверлильный	АИР100S4	3	0,14	0,5	1	3	1	4,33	1,82	3,15	3,63	5,25
11, 34, 35, 42	Вертикально-фрезерный	АИР100S4	3	0,14	0,5	4	12	1	4,33	7,27	12,58	14,54	21,01
30-33	Горизонтально-фрезерный	АИР100S4	3	0,14	0,5	4	12	1	4,33	7,27	12,58	14,54	21,01
36	Продольно-фрезерный	АИР132М4	11	0,17	0,65	1	11	1	4,33	8,10	14,01	16,18	23,38
58	Универсально-заточной	АИР112М4	5,5	0,14	0,5	1	5,5	1	4,33	3,33	3,90	5,13	7,42
25	Заточный	АИР132S4	3	0,41	0,5	1	3	1	2,41	2,96	5,13	5,92	8,56
27	Заточный	АИР112М4	3	0,31	0,5	1	3	1	3,21	2,99	5,16	5,97	8,62
13	Заточный	АИР100L4	3	0,41	0,5	1	3	1	2,41	2,96	5,13	5,92	8,56
57	Алмазно-заточной	АИР80В4	1,5	0,14	0,5	1	1,5	1	4,33	0,91	1,57	1,82	2,63
44, 45	Приточная вентиляция	АИР100S4	10	0,82	0,65	2	20	1	1,1	18,04	31,21	36,05	52,09
43	Протяжный станок	АИР100S4	3	0,22	0,5	1	3	1	1,6	1,06	1,24	1,63	2,35
2	Пресс гидравлический	АИР160S4	15	0,17	0,65	1	15	1	4,33	11,04	19,10	22,06	31,88
54	Протяжный станок	АИР80В4	1,5	0,35	0,65	1	1,5	1	3,21	1,69	1,97	2,59	3,75

Продолжение таблицы 4

Номер на плане	Наименование оборудования	Параметры привода оборудования		Параметры оборудования			Расчетные значения для одного приемника						
		Типоразмер электродвигателя	$P_{ном.л},$ кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$n,$ шт.	$P_{ном},$ кВт	$n_{э},$ шт.	K_p	$P_{расч},$ кВт	$Q_{расч},$ квар	$S_{расч},$ кВА	$I_{расч},$ А
53	Координатно-расточный	АИР112М4	5,5	0,35	0,65	1	10	1	2,3	12,65	14,80	19,47	28,14
49, 50	Резьбошлифовальный	АИР112М4	5,5	0,35	0,65	2	6,6	1	2,1	8,59	10,05	13,23	19,11
48	Вертикально-сверлильный	АИР112М4	5,5	0,35	0,65	1	5,5	1	3,21	6,18	7,23	9,51	13,74
51, 52	Плоскошлифовальный	АИР100L4	4	0,35	0,65	2	8	1	3,21	8,99	10,52	13,83	19,99
4, 7, 8	Отрезной	АИР100L4	4	0,35	0,65	3	12	1	3,21	13,48	15,77	20,75	29,99
3, 6	Горизонтально-расточной	АИР132М4	11	0,17	0,65	2	36	1	4,33	26,50	31,00	40,79	58,94
10	Отточная вентиляция	АИР132М4	11	0,2	0,65	1	16,5	2	4	13,23	4,25	13,9	21,12
		АИР112М4	5,54										
56	Заточной для пил	АИР112М4	5,5	0,14	0,5	1	15,5	1	1,1	13,98	16,36	21,52	31,10
12, 55, 59	Точильный	АИР80В4	1,5	0,35	0,65	3	1,5	1	2,5	1,31	0,68	1,48	2,25
24, 26	Поперчно-строгальный	АИР100L4	4	0,17	0,65	2	5,5	1	4,33	3,33	5,77	6,66	9,63
63	Электрический мостовой кран	МТКФ211-6	7,5	0,35	0,5	6	2,4	2,6	3,21	0,90 56,03	1,55 96,93	1,80 111,96	2,60 161,7 9
		МТКФ112-6	3,5										
		МТКФ112-6	3,5										
9	Прессножницы	АИР100L4	4	0,14	0,5	9	4,0	1	5,33	2,98	1,07	3,17	4,82

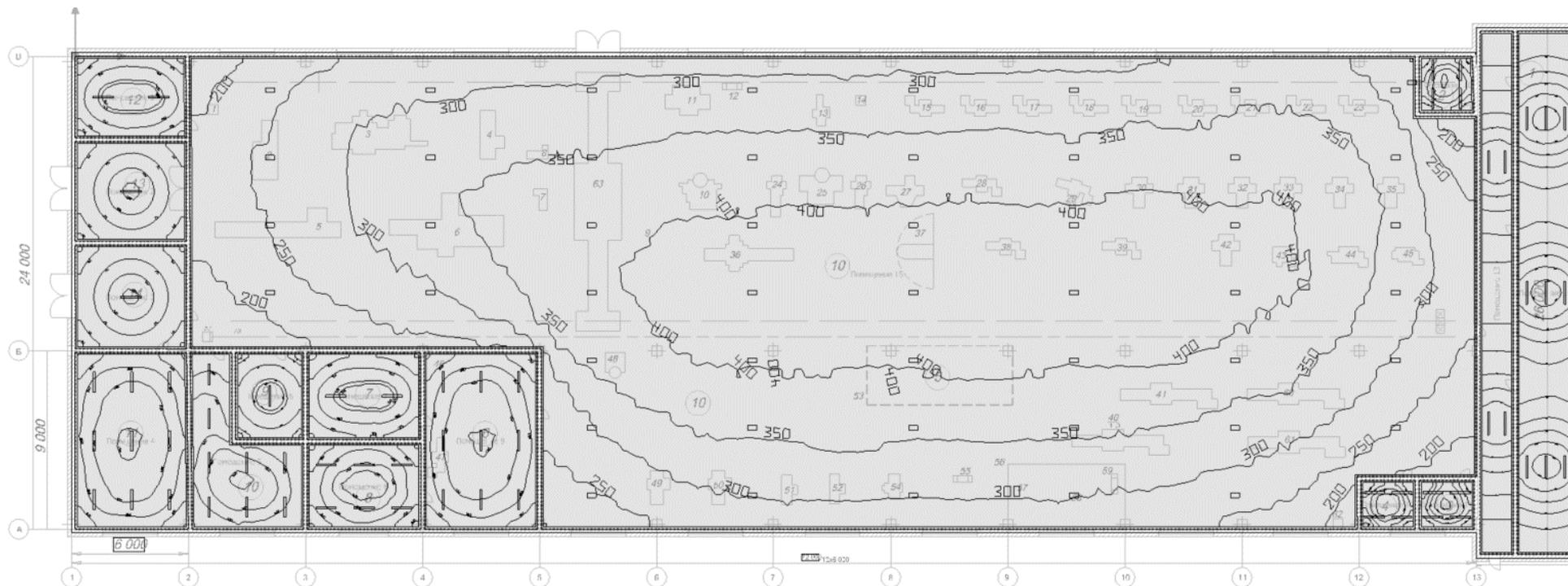


Рисунок 3 - Результаты расчета освещения в помещениях инструментального цеха в программе DIALuxEvo

Для системы освещения инструментального цеха использованы светодиодные светильники. Для помещения основного производства использован светодиодный светильник марки ANTARES S, для бытовых помещений использован светильник марки TITAN-2, для всех остальных помещений ANTARES. Параметры использованных светильников представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Параметры выбранных светильников

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра		
		ANTARES S	TITAN-2	ANTARES
Краткое наименование	-	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Мощность	Вт	30	34	47
Напряжение питания	В	230	230	230
Световой поток	Лм	4400	5600	6350
Световая отдача	Лм/Вт	147	165	135
Цветовая температура	К	4000	4000	5000
Индекс цветопередачи	CRI	>80	>80	>80
Коэффициент мощности	-	>0,96	>0,96	>0,96
Максимальное сечение подключаемого проводника	мм ²	2,5	2,5	2,5

Расчетные и нормируемые значения освещенности для системы освещения инструментального цеха представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Результаты расчета освещенности

Наименование помещения	Нормируемая освещенность, лк	Расчетные значения освещенности, лк			Число	Тип
		E_{max}	E_{cp}	E_{min}		
Бытовые помещения	150	325	175	60	9	Тип 2
Кабинет выдачи нарядов	300	552	496	432	4	Тип 3

Продолжение таблицы 6

Наименование помещения	Нормируемая освещенность, лк	Расчетные значения освещенности, лк			Число	Тип
		E_{max}	E_{cp}	E_{min}		
Кладовая механика 1	300	579	514	452	4	Тип 3
Кабинет начальника участка	300	572	515	439	4	Тип 3
Мастерская	300	454	375	243	18	Тип 3
Комната мастеров	300	495	409	289	6	Тип 3
Кладовая механика 2	75	189	148	96	2	Тип 3
Склад	75	139	106	71,5	1	Тип 3
Отдел технического контроля	300	505	391	206	8	Тип 3
Отдел технологов	300	249	377	457	9	Тип 3
Помещение электрощитовой	150	189	154	105	2	Тип 3
Тамбур 1	75	123	73,8	38,7	1	Тип 3
Тамбур 2	75	123	75	38,7	1	Тип 3
Помещение основного производства	300	160	337	431	49	Тип 1

Для разработки системы электроснабжения инструментального цеха завода среднего машиностроения необходимо выполнить группировку всего технологического оборудования и определить тип распределительной схемы питания.

Анализ расположения технологического оборудования инструментального цеха завода среднего машиностроения показал, что рационально использовать радиальный тип распределительной сети.

Для питания технологического оборудования инструментального цеха примем распределительный шинопровод, который монтируется вдоль помещения основного производства на высоте 3 м от уровня пола. Для подключения технологического оборудования используем провода, которые прокладываются в пластмассовых трубах.

Сгруппируем основное технологическое оборудование инструментального цеха для расчета нагрузок и выбора типа и марки распределительных шинопроводов. Результаты группировки технологического оборудования сведем в таблицу 7.

Таблица 7 - Группировка технологического оборудования

№ группы	Номера технологического оборудования входящего в группу	Число электродвигателей, входящих в группу
1	1-8	13
2	9-39,42-45	36
3	46-51	6
4	52-59	8
5	40,41,60,61,62	4

Расчет мощности для групп технологического оборудования выполним по методике представленной в [20].

Номинальная мощность группы технологического оборудования определяется по выражению:

$$P_{\text{ном.г}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} \quad (9)$$

где n – количество технологического оборудования, отнесенное к группе по данным таблицы 7, шт.;

$P_{\text{ном.}i}$ – номинальная мощность i -го технологического оборудования, определенное по выражению (1) в таблице 4, кВт.

Расчетная активная мощность группы технологических электроприемников определяется по выражению:

$$P_{\text{расч.г}} = K_{\text{р.г}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} \cdot K_{\text{и.}i} \quad (10)$$

где $K_{p.g}$ – групповой коэффициент расчетной нагрузки, определяется по [20];

n – количество технологического оборудования входящего в группу электроприемников, шт;

$P_{ном.i}$ – номинальная мощность i -го технологического оборудования, определенное по выражению (1) в таблице 4, кВт;

$K_{и.i}$ – коэффициент использования i -го технологического оборудования, заданный в таблице 2.

Для определения группового расчетного коэффициента ($K_{p.g}$) необходимо определить расчетные значения группового коэффициента использования, а также эффективное число электроприемников в группе.

Групповой коэффициент использования определяется по выражению:

$$K_{и.g} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ном.i} \cdot K_{и.i}}{\sum_{i=1}^n P_{ном.i}} \quad (11)$$

Эффективное число электроприемников для группы определяется по выражению:

$$n_{э.g} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{ном.i})^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном.i}^2} \quad (12)$$

Определение расчетной реактивной мощности для группы технологического оборудования используется в зависимости от полученного значения эффективного числа электроприемников в группе.

При $n_{э.g} \leq 10$ групповая реактивная мощность определяется по выражению:

$$Q_{\text{расч.г}} = 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n K_{\text{и.и}} \cdot P_{\text{ном.и}} \cdot \text{tg } \varphi_i \quad (13)$$

где $K_{\text{и.и}}$ - коэффициент использования i -го технологического оборудования, заданный в таблице 2;

$P_{\text{ном.и}}$ - расчетное значение номинальной мощности i -го технологического оборудования, определяемое выражением (1), кВт;

$\text{tg } \varphi_i$ - коэффициент реактивной мощности i -го технологического оборудования, определяемый по значению $\cos \varphi$ из таблицы 2.

При $n_{\text{э.г}} > 10$ групповая реактивная мощность определяется по выражению:

$$Q_{\text{расч.г}} = 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n K_{\text{и.и}} \cdot P_{\text{ном.и}} \cdot \text{tg } \varphi_i \quad (14)$$

Расчетная полная мощность для группы электроприемников определяется по выражению:

$$S_{\text{расч.г}} = \sqrt{P_{\text{расч.г}}^2 + Q_{\text{расч.г}}^2} \quad (15)$$

Расчетный ток группы технологического оборудования определяется по выражению:

$$I_{\text{расч.г}} = \frac{S_{\text{расч.г}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (16)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение подключения технологического оборудования, принимается $U_{\text{ном}} = 0,38$ (кВ).

По выражениям (9) - (16) выполним расчеты в таблице 8.

Таблица 8 - Расчет мощности групп технологического оборудования

№ группы	$P_{\text{ном.г}},$ кВт	$K_{\text{и.г}}$	$n_{\text{э.г}}$	$K_{\text{р.г}}$	$P_{\text{расч.г}},$ кВт	$Q_{\text{расч.г}},$ квар	$S_{\text{расч.г}},$ кВА	$I_{\text{расч.г}},$ А
1	90,6	0,3	3,2	1,72	30,4	52,7	60,8	87,9
2	369,4	0,2	3,6	1,36	79,1	92,5	121,7	175,9
3	37,5	0,3	2,8	1,39	15,1	17,6	23,2	33,5
4	29,6	0,3	4,8	1,45	12,0	20,7	23,9	34,6
5	85,1	0,1	1,0	2,52	24,9	43,1	49,8	71,9
Итого	439,1	0,166	56	0,65	30,4	52,7	60,8	87,9

Поданным таблицы определим расчетную мощности системы освещения используя выражение:

$$P_{\text{расч.осв.}i} = K_c \cdot \sum_{j=1}^n P_{\text{ном.}j} \quad (17)$$

где K_c – справочное значение коэффициента спроса для системы освещения. Для производственных зданий принимается $K_c = 1$;

n – число установок освещения в i -м помещении, шт;

$P_{\text{ном.}j}$ – мощность j -й установки освещения в i -м помещении, кВт.

Реактивная мощность системы освещения определится по выражению:

$$Q_{\text{расч.осв.}i} = P_{\text{расч.осв.}i} \cdot \text{tg } \varphi \quad (18)$$

Полная мощность системы освещения определится аналогично выражения (15). Расчет сведем в таблицу 9.

Таблица 9 - Расчет мощности системы освещения

Наименование помещения	$n,$ шт.	$P_{\text{ном.}j},$ кВт	$\text{tg } \varphi$	$P_{\text{расч.осв.}i},$ кВт	$Q_{\text{расч.осв.}i},$ квар	$S_{\text{расч.осв.}i},$ кВА
Бытовые помещения	9	0,047	0,29	0,42	0,12	0,44
Кладовая механика 1	4	0,047	0,29	0,18	0,05	0,19
Кабинет начальника участка	4	0,047	0,29	0,18	0,05	0,19
Мастерская	18	0,047	0,29	0,84	0,24	0,88

Продолжение таблицы 9

Наименование помещения	n , шт.	$P_{\text{ном.}j}$, кВт	$\text{tg } \varphi$	$P_{\text{расч.осв.}i}$, кВт	$Q_{\text{расч.осв.}i}$, квар	$S_{\text{расч.осв.}i}$, кВА
Комната мастеров	6	0,047	0,29	0,28	0,08	0,29
Кладовая механика 2	2	0,047	0,29	0,09	0,02	0,09
Склад	1	0,047	0,29	0,04	0,01	0,04
Отдел технического контроля	8	0,047	0,29	0,37	0,10	0,39
Отдел технологов	9	0,047	0,29	0,42	0,12	0,44
Помещение электрощитовой	2	0,047	0,29	0,09	0,02	0,09
Тамбур 1	1	0,047	0,29	0,04	0,01	0,04
Тамбур 2	1	0,047	0,29	0,04	0,01	0,04
Помещение основного производства	49	0,030	0,29	1,47	0,42	1,53
$P_{\text{расч.осв.}\Sigma}$, кВт				4,52	-	-
$Q_{\text{расч.осв.}\Sigma}$, квар					1,31	-
$S_{\text{расч.осв.}\Sigma}$, кВА						4,71

Определим общее значение расчетных мощностей инструментального цеха с учетом технологического оборудования и установок освещения.

Расчетная активная мощность инструментального цеха:

$$P_{\text{расч.ПМЦ}} = P_{\text{расч.осв.}\Sigma} + P_{\text{расч.г.}\Sigma} = 4,52 + 161,5 = 166,02 \text{ (кВт)}$$

Расчетная реактивная мощность инструментального цеха:

$$Q_{\text{расч.ПМЦ}} = Q_{\text{расч.осв.}\Sigma} + Q_{\text{расч.г.}\Sigma} = 1,31 + 226,6 = 227,9 \text{ (квар)}$$

Расчетная полная мощность инструментального цеха:

$$S_{\text{расч.ПМЦ}} = S_{\text{расч.осв.}\Sigma} + S_{\text{расч.г.}\Sigma} = 4,71 + 279,4 = 284,1 \text{ (кВА)}$$

Полученные результаты используются для определения расчетной мощности всего машиностроительного завода.

2.2 Расчет электрических нагрузок объекта ВКР

В рамках раздела выполнен расчет мощности, потребляемой всеми цехами основного производства завода среднего машиностроения. Исходные данные для укрупненного расчета мощности основного производства завода среднего машиностроения представлены в таблице 10 без учета инструментального цеха, расчетные значения для которого были определены ранее.

Расчет нагрузок по цехам основного производства завода среднего машиностроения выполняется по методике, представленной выражениями (9) - (16). Выполним расчет для сварочного цеха.

Коэффициент использования для цеха определим по выражению (11) с учетом данных таблицы 10:

$$K_{и.сц} = \frac{900 \cdot 0,45 + 220 \cdot 0,85 + 330 \cdot 0,64}{900 + 220 + 330},$$
$$K_{и.сц} = 0,74$$

Эффективное число электроприемников при большом числе потребителей согласно [20] определяется по выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}\Sigma}}{P_{\text{max}}} \quad (19)$$

Для сварочного цеха с учетом данных таблицы 10 по выражению (19) получим:

$$n_{\text{э.сц}} = \frac{2 \cdot (900 + 220 + 330)}{110} = 26$$

Таблица 10 - Исходные данные для расчета мощности основного производства машиностроительного завода

Наименование цеха	Наименование оборудования	Параметры оборудования				
		$P_{уст}$, кВт	P_{max} кВт	$P_{ном.Σ}$, кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$
Компрессорная станция	Компрессор №1	3500	380	500	0,9	0,85
	Компрессор №2			500	0,9	0,85
	Компрессор №3			500	0,9	0,85
	Компрессор №4			750	0,75	0,85
	Компрессор №5			1250	0,45	0,87
Сборочный цех	Привод конвейера	7695	550	4000	0,75	0,65
	Приточная вентиляция			200	0,95	0,87
	Тепловая завеса			90	0,45	0,65
	Зарядная станция			2500	0,88	0,92
	Мостовой кран			575	0,55	0,67
	Кран-балка			330	0,67	0,67
Кузнечно-прессовый цех	Кузнечный автомат	7865	490	2550	0,45	0,56
	Пресс			1980	0,55	0,55
	Мостовой кран			600	0,55	0,75
	Термообрубной пост			1260	0,66	0,67
	Отточная вентиляция			275	0,75	0,8
	Установка отжига			900	0,88	0,95
	Печь сопротивления			300	0,95	0,95
Центральный склад	Отточная вентиляция	3915	89	165	0,95	0,85
	Приточная вентиляция			210	0,95	0,85
	Зарядная станция для электрокаров			2510	0,77	0,91
	Кран балка			480	0,85	0,66
	Мостовой кран			550	0,75	0,67
Сварочный цех	Сварочный агрегат	1450	110	900	0,45	0,33
	Отточная вентиляция			220	0,85	0,8
	Кран-балка			330	0,64	0,67

Продолжение таблицы 10

Наименование цеха	Наименование оборудования	Параметры оборудования				
		$P_{уст}$, кВт	P_{max} кВт	$P_{ном.Σ}$, кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$
Литейный цех	Индукционная печь	7615	660	4000	0,55	0,15
	Литейный агрегат			2500	0,45	0,55
	Отточная вентиляция			560	0,87	0,87
	Водяной насос системы охлаждения			555	0,75	0,78
Транспортный цех	Тепловая завеса	70	2	70	0,56	0,68
Инженерный корпус	Насос водоснабжения	55	1	55	0,67	0,76
Административный корпус	Насос водоснабжения	55	1	55	0,67	0,76

С учетом полученного значения $n_{э.сц} = 27$ и значению $K_{и.сц} = 0,74$ по [20] определим значение расчетного коэффициента нагрузки сварочного цеха $K_{р.сц} = 0,70$.

Дополним данные таблицы 10 значениями расчетных коэффициентов мощности (K_p) определенным по [20], эффективным числом электроприемников ($n_э$) рассчитанному по (19), а также значениями коэффициентов использования ($K_{и}$) рассчитанному по (11) для всех цехов машиностроительного завода, все данные сведем в таблицу 11.

Далее необходимо выполнить расчет нагрузки систем освещения всех производственных цехов машиностроительного завода. Расчет мощности систем освещения выполним методом удельной мощности скорректированным в [7] относительно использования светодиодных светильников. Согласно [7] примем для всех цехов основного производства машиностроительного завода значения удельной мощности системы освещения $p_{уд.LED} = 2,2$ (Вт/м²), коэффициент запаса $K_{зап.LED} = 1,1$ и коэффициент неравномерности $K_{н.р.LED} = 1,08$. Мощность системы освещения определим по выражению:

$$P_{осв.i} = p_{уд.LED} \cdot S_i \quad (20)$$

где S_i – площадь i -го цеха основного производства завода среднего машиностроения, определено в таблице 1, м².

Для сварочного цеха по выражению (20) с учетом данных таблицы 1 получим:

$$P_{осв.сц} = 2,2 \cdot 8945 = 19679 \text{ (Вт)}$$

Далее определим расчетные значения реактивной и полной мощностей.

Таблица 11 - Определение расчетных коэффициентов нагрузки основного производства завода среднего машиностроения

Наименование оборудования	Параметры оборудования					Расчетные и справочные значения				
	$P_{уст}$, кВт	P_{max} кВт	$P_{ном.Σ}$, кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$K_{и} \cdot P_{ном.Σ}$	$\Sigma K_{и} \cdot P_{ном.Σ}$	$n_{э}$	$K_{и}$	$K_{р}$
Компрессорная станция										
Компрессор №1	3500	380	500	0,9	0,85	450	2475	2	0,82	0,52
Компрессор №2			500	0,9	0,85	450				
Компрессор №3			500	0,9	0,85	450				
Компрессор №4			750	0,75	0,85	562,5				
Компрессор №5			1250	0,45	0,87	562,5				
Сборочный цех										
Привод конвейера	7695	550	4000	0,75	0,65	3000	5967,85	51	0,56	0,48
Приточная вентиляция			200	0,95	0,87	190				
Тепловая завеса			90	0,45	0,65	40,5				
Зарядная станция			2500	0,88	0,92	2200				
Мостовой кран			575	0,55	0,67	316,25				
Кран-балка			330	0,67	0,67	221,1				
Кузнечнопрессовый цех										
Кузнечный автомат	7865	490	2550	0,45	0,56	1147,5	4681,35	42	0,59	0,38
Пресс			1980	0,55	0,55	1089				
Мостовой кран			600	0,55	0,75	330				
Термообрубной пост			1260	0,66	0,67	831,6				
Отточная вентиляция			275	0,75	0,8	206,25				
Установка отжига			900	0,88	0,95	792				
Печь сопротивления			300	0,95	0,95	285				

Продолжение таблицы 11

Наименование оборудования	Параметры оборудования					Расчетные и справочные значения				
	$P_{уст}$, кВт	P_{max} кВт	$P_{ном.Σ}$, кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$K_{и} \cdot P_{ном.Σ}$	$\Sigma K_{и} \cdot P_{ном.Σ}$	$n_{э}$	$K_{и}$	$K_{р}$
Центральный склад										
Отточная вентиляция	3915	89	165	0,95	0,85	156,75	3109,45	15	0,62	0,62
Приточная вентиляция			210	0,95	0,85	199,5				
Зарядная станция для электрокаров			2510	0,77	0,91	1932,7				
Кран-балка			480	0,85	0,66	408				
Мостовой кран			550	0,75	0,67	412,5				
Сварочный цех										
Сварочный агрегат	1450	110	900	0,45	0,33	405	803,2	26	0,74	0,82
Отточная вентиляция			220	0,85	0,8	187				
Кран-балка			330	0,64	0,67	211,2				
Литейный цех										
Индукционная печь	7615	660	4000	0,55	0,15	2200	4228,45	34	0,58	0,66
Литейный агрегат			2500	0,45	0,55	1125				
Отточная вентиляция			560	0,87	0,87	487,2				
Водяной насос системы охлаждения			555	0,75	0,78	416,25				
Транспортный цех										
Тепловая завеса	70	2	70	0,56	0,68	39,2	39,2	1	0,56	1
Инженерный корпус										
Насос водоснабжения	55	1	55	0,67	0,76	36,8	36,8	1	0,67	1
Административный корпус										
Насос водоснабжения	55	1	55	0,67	0,76	36,8	36,8	1	0,67	1

Реактивная мощность системы освещения сварочного цеха определим по выражению (18):

$$Q_{\text{расч.осв.ЦЦ}} = 19679 \cdot 0,29 = 5706 \text{ (вар)}$$

Полная мощность системы освещения сварочного цеха определим по выражению (15):

$$S_{\text{расч.осв.ЦЦ}} = \sqrt{19679^2 + 5706^2} = 17628 \text{ (ВА)}$$

Для остальных цехов завода среднего машиностроения расчет мощности системы освещения выполним аналогично расчету для сварочного цеха (СЦ), результаты расчета сведем в таблицу 12.

Таблица 12 - Расчет мощности освещения цехов

Наименование цеха	Площадь цеха, м ²	$p_{\text{уд.LED}}$, Вт/м ²	$P_{\text{осв.i}}$, кВт	$Q_{\text{осв.i}}$, квар	$S_{\text{осв.i}}$, кВА
Компрессорная станция	3344	2,2	12,22	3,54	12,72
Сборочный цех	3760		28,66	8,31	29,84
Кузнечнопрессовый цех	36960		32,21	9,34	33,54
Центральный склад	30314		17,87	5,18	18,61
Сварочный цех	1872		16,67	4,83	17,36
Литейный цех	9240		24,89	7,22	25,92
Транспортный цех	13860		8,905	2,58	9,27
Инженерный корпус	17260		15,54	4,51	16,18
Административный корпус	9240		16,92	4,91	17,62

С учетом данных таблицы 12 определим расчетные значения полной ($S_{\text{расч}}$) полученные по выражению (15), активной ($P_{\text{расч}}$) полученной по выражению (10) и реактивной ($Q_{\text{расч}}$) по выражениям (13) и (14) мощностей для каждого цеха машиностроительного завода. Определение расчетных мощностей выполним в таблице 13, которую дополним расчетными значениями тока ($I_{\text{расч}}$) по выражению (16).

Таблица 13 - Результаты расчета электрических нагрузок основного производства завода среднего машиностроения

Параметры	Расчетные значения нагрузок										
	Система освещения			Силовая нагрузка				Суммарная нагрузка			
	$P_{осв.}$	$Q_{осв.}$	$S_{осв.}$	$P_{расч}$	$\overline{\cos \varphi}$	$Q_{расч}$	$S_{расч}$	$P_{расч\Sigma}$	$Q_{расч\Sigma}$	$S_{расч\Sigma}$	$I_{расч}$
Единицы измерения	кВт	квар	кВА	кВт	-	квар	кВА	кВт	квар	кВА	А
Компрессорная станция	12,22	3,54	12,72	4228,45	0,86	2153	3280	4240,67	2156,54	4757,51	6875,02
Инструментальный цех	4,52	1,31	4,71	161,5	0,55	226,6	279	166,02	227,91	281,97	407,47
Сборочный цех	28,66	8,31	29,84	5967,85	0,64	5192	7910	5996,51	5200,31	7937,34	11470,14
Кузнечнопрессовый цех	32,21	9,34	33,54	2475	0,60	4072	6250	2507,21	4081,34	4789,93	6921,87
Центральный склад	17,87	5,18	18,61	4681,35	0,71	2705	4121	4699,22	2710,18	5424,73	7839,21
Сварочный цех	16,67	4,83	17,36	3109,45	0,35	698	1064	3126,12	702,83	3204,15	4630,28
Литейный цех	24,89	7,22	25,92	803,2	0,52	3678	5604	828,09	3685,22	3777,11	5458,26
Транспортный цех	8,905	2,58	9,27	39,2	0,68	34	51	48,105	36,58	60,43	87,33
Инженерный корпус	15,54	4,51	16,18	36,8	0,76	32	48	52,34	36,51	63,82	92,22
Административный корпус	16,92	4,91	17,62	36,8	0,76	32	48	53,72	36,91	65,18	94,19
Итого								21718,01	18874,3	30362,18	43875,98

Выводы по разделу.

Результатом выполнения раздела являются определенные значения суммарных нагрузок по всем цехам основного производства завода среднего машиностроения, которые суммируются в таблице 13 по всем цехам объекта ВКР с учетом расчетных значений силовых нагрузок и нагрузок системы освещения. Полученные значения расчетных нагрузок необходимы для выполнения последующих этапов проектирования системы электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения, а именно, для выбора трансформаторов подстанций распределительной сети.

Выполнен подробный расчет электрических нагрузок инструментального цеха основного производства завода среднего машиностроения. Электрические нагрузки рассчитаны с учетом условий и режимов работы основного технологического оборудования инструментального цеха и спроектированной системы освещения помещений цеха. Получены значения активной $P_{\text{расч.ИЦ}} = 161,5$ (кВт) реактивной $Q_{\text{расч.ИЦ}} = 226,6$ (квар) и полной $S_{\text{расч.ИЦ}} = 279$ (кВА). Для системы освещения инструментального цеха использованы светодиодные светильники. Для помещения основного производства использован светодиодный светильник марки ANTARES S – 49 шт., для бытовых помещений использован светильник марки TITAN-2 – 9 шт., для всех остальных помещений ANTARES – 24 шт.

Выполнен расчет мощности всех цехов основного производства завода среднего машиностроения. Получены расчетные значения активной $P_{\text{расч.ОПЗСМ}} = 21718,01$ (кВт) реактивной $Q_{\text{расч.ОПЗСМ}} = 18874,3$ (квар) и полной $S_{\text{расч.ОПЗСМ}} = 30362,18$ (кВА) мощностей.

3 Проектирование внутризаводской распределительной сети

В рамках раздела выполнен расчет картограммы электрических нагрузок основного производства завода среднего машиностроения с определением мест размещения цеховых трансформаторных подстанций. Также проведен расчет установок компенсации реактивной мощности для цеховых трансформаторных подстанций основного производства завода среднего машиностроения. Выбрано число и мощность распределительных трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций, а также выбраны кабельные линии для питания цехов основного производства завода среднего машиностроения от цеховых трансформаторных подстанций, а также от ГПП предприятия до распределительного пункта (РП) основного производства. Распределительный пункт размещается в расчетном центре электрических нагрузок. Выбраны кабели для питания трансформаторных подстанций от РП и питания РП от ГПП рассматриваемого в рамках выполнения ВКР предприятия.

3.1 Картограмма нагрузок и определение мест размещения цеховых трансформаторных подстанций

Оптимальным местом размещения главной понизительной подстанции или распределительного пункта, в зависимости от структуры системы внутризаводского электроснабжения, является центр электрических нагрузок (ЦЭН). Координаты ЦЭН определяются по выражениям:

$$x_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i}} \quad (21)$$

$$y_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i}} \quad (22)$$

где n – количество цехов основного производства машиностроительного завода, шт.;

x_i – координаты i -го цеха основного производства машиностроительного завода по оси абсцисс, м;

y_i – координаты i -го цеха основного производства машиностроительного завода по оси ординат, м.

Радиусы окружностей для построения картограммы нагрузок, для каждого цеха завода среднего машиностроения определяются по выражению:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{\text{расч.}\Sigma.i}}{\pi \cdot m}} \quad (23)$$

где m – масштаб для определения площади круга. Принимаем в расчетах $m = 2$ кВт/мм².

Также на картограмме электрических нагрузок отражается доля нагрузки системы освещения. Для определения сегмента круга отражающего нагрузку системы освещения используется выражение:

$$\alpha_{\text{осв.}i} = \frac{P_{\text{осв.}i}}{P_{\text{расч.}\Sigma.i}} \quad (24)$$

где $P_{\text{осв.}i}$ – расчетное значение мощности системы освещения i -го цеха основного производства завода среднего машиностроения, определенное в таблице 13, кВт;

$P_{\text{расч.}\Sigma.i}$ – суммарная расчетная мощность i -го цеха основного производства завода среднего машиностроения, определенное в таблице 13, кВт.

Используя генеральный план основного производства завода среднего машиностроения (рисунок 1) определим координаты x_i и y_i всех цехов

основного производства предприятия и занесем их в расчетную таблицу 14. Также для определения координат ЦЭН и построения картограммы нагрузок выполним последовательный расчет ЦЭН по выражениям (21) - (23) в таблице 14.

По значениям таблицы 14 расчетные значения координат центра электрических нагрузок $x_{\text{ЦЭН}} = 582,4$ (мм), $y_{\text{ЦЭН}} = 425,2$ (мм). Расположение ЦЭН показано в графической части выпускной квалификационной работы.

Таблица 14 - Расчет картограммы нагрузок для определения ЦЭН

i	x_i , мм	y_i , мм	$P_{\text{расч.}i}$, кВт	$P_{\text{расч.}i} \cdot x_i$	$P_{\text{расч.}i} \cdot y_i$	r_i , мм	$\alpha_{\text{осв.}i}$, °
1	852	282	4240,67	3613051	1195869	25,98588	0,002882
2	498	438	166,02	82677,96	72716,76	5,141625	0,027226
3	318	436	5996,51	1906890	2614478	30,90078	0,004779
4	502	742	2507,21	1258619	1860350	19,98092	0,012847
5	594	440	4699,22	2791337	2067657	27,35477	0,003803
6	772	186	3126,12	2413365	581458,3	22,3112	0,005332
7	678	942	828,09	561445	780060,8	11,48309	0,030057
8	290	332	48,105	13950,45	15970,86	2,767676	0,185116
9	74	452	52,34	3873,16	23657,68	2,886935	0,296905
10	74	412	53,72	3975,28	22132,64	2,924746	0,314966
$\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i}$, кВт			21718,01	-	-	-	-
$\sum_{i=1}^5 P_{\text{расч.}i} \cdot x_i$, кВт·мм				12649183,63	-	-	-
$\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}i} \cdot y_i$, кВт·мм					9234350,96	-	-

Также для проектирования внутризаводской распределительной сети необходимо определить места размещения и количество трансформаторных подстанций. При этом необходимо стараться использовать в проектируемой внутризаводской системе электроснабжения трансформаторы одинаковых мощностей.

Ряд цехов следует запитать от подстанций других цехов в силу их сравнительно невысокой мощности. Так, инструментальный цех основного производства завода среднего машиностроения запитаем от соседнего центрального склада, транспортный цех от кузнечнопрессового цеха, а

инженерный корпус и административный корпус от главной понизительной подстанции.

Число трансформаторных подстанций питания цехов основного производства завода среднего машиностроения определим по выражению:

$$n_{\text{ТП.}i} = \frac{S_{\text{расч.}\Sigma.i}}{n_{\text{тр.}i} \cdot K_{\text{заг.р}} \cdot S_{\text{тр.ном.}i}} \quad (25)$$

где $S_{\text{расч.}\Sigma.i}$ – полная расчетная мощность i -го цеха, кВА;

$K_{\text{заг.р}}$ – коэффициент загрузки, принимаем $K_{\text{заг.р}} = 0,7$;

$S_{\text{тр.ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, принимается согласно [4], кВА.

По выражению (25) округляя полученное значение до ближайшего согласно [4] большего заполним таблицу 15.

Таблица 15 - Определение числа ТП

Наименование цеха	Расчетные значения			
	$S_{\text{расч.}\Sigma.i}$, кВА	Номер ТП	$S_{\text{тр.ном}}$, кВА	$n_{\text{ТП.}i}$, шт
Компрессорная станция	6875,02	1	2500	4
		2		
Инструментальный цех	407,47	Запитан от центрального склада	-	-
Сборочный цех	11470,14	3	2500	6
		4		
		5		
Кузнечнопрессовый цех	6921,87	6	2500	4
		7		
Центральный склад	7839,21	8	2500	4
		9		
Сварочный цех	4630,28	10	2500	2
Литейный цех	5458,26	11	2500	2
Транспортный цех	87,33	Запитан от кузнечнопрессового цеха	-	-
Инженерный корпус	92,22	Запитан от ГПП	-	-
Административный корпус	94,19	Запитан от ГПП	-	-
Всего трансформаторных подстанций, шт.				6

Предварительно примем трансформаторы с мощностями согласно таблице 15. Марки и число трансформаторов уточним после расчета необходимости компенсации реактивной мощности и уточнения мощности распределительных трансформаторов.

Выполнен расчет картограммы нагрузок основного производства завода среднего машиностроения и определен центр электрических нагрузок.

3.2 Компенсация реактивной мощности во внутризаводской распределительной сети

Для снижения перетоков мощности во внутризаводской распределительной сети, а также для снижения единичной мощности трансформаторов цеховых подстанций необходимо рассмотреть необходимость компенсации реактивной мощности [12]. С учетом расчетных значений мощностей для цехов основного производства завода среднего машиностроения полученных во втором разделе ВКР необходимо выбрать мощность и количество установок компенсации реактивной мощности.

Выбранные установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) размещаются на стороне 0,38 кВ трансформаторных подстанций внутризаводской распределительной сети. Такое размещение УКРМ позволит снизить не только мощность распределительных трансформаторов, сечение кабельных линий, но и снизить мощность силовых трансформаторов главной понизительной подстанции.

Расчетное значение мощности конденсаторной установки для внутризаводской системы электроснабжения определяется по выражению:

$$Q_{\text{КР,расч.}i} = P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot (\text{tg}(\varphi_i) - \text{tg}(\varphi_{\text{КР}})) \quad (26)$$

где $P_{\text{расч.}\Sigma}$ – расчетное значение активной мощности i -го цеха, определенное в таблице 13, кВт;

$\text{tg}(\varphi_i)$ – коэффициент реактивной мощности i -го цеха, определяемый по значению $\overline{\cos \varphi}$, для каждого цеха в таблице 13;

$\text{tg}(\varphi_{\text{КР}})$ – коэффициент реактивной мощности с учетом использования установки компенсации реактивной мощности принимается $\text{tg}(\varphi_{\text{КР}}) = 0,2$.

По (26) для сборочного цеха:

$$Q_{\text{КР.расч.ГКС-РМЦ}} = (5996,5) \cdot (1,96 - 0,20) = 10522 \text{ (квар)}$$

По полученному значению $Q_{\text{КР.расч.ГКС-РМЦ}} = 10522$ (квар) выберем мощность установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) [9]. Так как для сборочного цеха предварительно в таблице 15 определено три двухтрансформаторных подстанции, то примем шесть УКРМ типа АУКРМ-0,4-1400-25 УЗ [9].

С учетом выбранных установок проверим значение коэффициента реактивной мощности для проектируемой внутризаводской распределительной сети основного производства завода среднего машиностроения:

$$\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} = \text{tg}(\varphi) - \frac{n_{\text{КУ}} \cdot Q_{\text{КУ}}}{P_{\text{расч.}\Sigma.\text{ГКС-РМЦ}}} \quad (27)$$

По (27) для сборочного цеха получим:

$$\text{tg}(\varphi)_{\text{факт}} = 1,07 - \frac{4 \cdot 1400}{5996,5} = 0,065$$

Полученное значение $\text{tg}(\varphi)_{\text{факт}} = 0,065$ удовлетворяет условию выбора мощности УКРМ – не превышает значение $\text{tg}(\varphi) = 0,2$.

Для всех остальных цехов машиностроительного завода расчет выполним аналогично расчету установок УКРМ сборочному цеху. Результаты расчета для всех цехов машиностроительного завода сведем в таблицу 16.

Таблица 16 – Выбор установок компенсации реактивной мощности

Наименование цеха	Расчетные значения						Тип УКРМ
	$P_{\text{расч.}\Sigma.i}$, кВт	$Q_{\text{КР.расч.}i}$, квар	$\text{tg}(\varphi_i)$	$Q_{\text{КУ}}$, квар	$n_{\text{КУ.}i}$, шт.	$\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}}$	
Компрессорная станция	4240,67	2629,21	0,82	1400	2	0,15	АУКРМ-0,4-1400-25 У1
Сборочный цех	5996,51	10522	1,96	1400	6	1,12	АУКРМ-0,4-1400-25 У3
Кузнечнопрессовый цех	2507,21	3760,815	0,78	1400	3	0,02	АУКРМ-0,4-1400-25 У3
Центральный склад	4699,22	2913,51	0,81	1400	2	0,20	АУКРМ-0,4-1400-25 У3
Сварочный цех	3126,12	1938,19	0,65	1000	2	0,18	АУКРМ-0,4-1000-25 У3
Литейный цех	828,09	1490,56	0,69	800	2	0,06	АУКРМ-0,4-800-25 У3

С учетом выбранных УКРМ необходимо уточнить расчет числа трансформаторных подстанций внутризаводской распределительной сети.

Определим полную расчетную мощность с учетом выбранных установок УКРМ по выражению:

$$S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i} = \sqrt{P_{\text{расч.}\Sigma.i}^2 + (Q_{\text{расч.}\Sigma.i} - n_{\text{КУ.}i} \cdot Q_{\text{КУ.}i})^2} \quad (28)$$

где $P_{\text{расч.}\Sigma.i}$ – расчетная активная мощность i -го цеха основного производства завода среднего машиностроения, кВт;

$Q_{\text{расч.}\Sigma.i}$ – расчетная реактивная мощность i -го цеха основного производства завода среднего машиностроения, квар;

$n_{\text{КУ.}i}$ – число установок компенсации реактивной мощности, шт.;

$Q_{ку.i}$ – мощность выбранной установки компенсации реактивной мощности, квар.

Результаты расчета по (25) с учетом значений полученных в (28) сведем в таблицу 17.

Таблица 17 - Определение числа ТП с учетом УКРМ

Наименование цеха	Расчетные значения			
	$S_{расч.Э.ку.i}$, кВА	Номер ТП	$S_{тр.ном}$, кВА	$n_{ТП.i}$, шт
Компрессорная станция	3391,96	1	2500	1
Сборочный цех	4919,68	2	2500	2
		3		
Кузнечнопрессовый цех	640,45	4	2500	2
		5		
Центральный склад	3950,36	6	2500	2
		7		
Сварочный цех	2788,06	8	2500	1
Литейный цех	524,6	9	2500	1
Всего трансформаторных подстанций, шт.				9

По данным таблицы 17 число трансформаторных подстанций с учетом выбранных установок компенсации реактивной мощности изменилось с 11 шт. до 9 шт., мощности трансформаторов не изменились.

3.3 Выбор трансформаторов внутризаводской системы электроснабжения

По определенной мощности трансформаторов с учетом выбранного числа трансформаторных подстанций (таблица 17) необходимо по каталогам производителей выполнить поиск типов и марок трансформаторов.

В качестве производителей трансформаторов рассмотрим ООО «Тольяттинский трансформатор» [13], г. Тольятти.

ООО «Тольяттинский трансформатор» производит масляные герметичные трансформаторы марки ТМГ. По каталогам [13] выберем трансформаторы и определим их паспортные данные, которые сведем в таблицу 18.

Таблица 18 - Паспортные значения трансформатора

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значения параметров
			ТМГ 2500
Мощность	$S_{тр.ном}$	кВА	2500
Напряжение обмотки ВН	$U_{ВН.ном}$	кВ	10
Напряжение обмотки НН	$U_{НН.ном}$	кВ	0,4
Ток холостого хода	$i_{xx. \%}$	%	0,16
Напряжение короткого замыкания	$u_{кз. \%}$	%	6
Потери холостого хода	P_{xx}	кВт	2,25
Потери короткого замыкания	$P_{кз}$	кВт	22,0
Схема соединения обмотки ВН	-	-	Y
Схема соединения обмотки НН	-	-	Y_{H-0}

Для выбранного типа трансформатора определим значение коэффициента загрузки трансформаторов соответствующих минимуму нагрузочных потерь [2] по выражению:

$$K_{\text{опт.з}} = \sqrt{\frac{P_{xx}}{P_{кз}}} \quad (29)$$

По (29) для трансформатора ТМГ 2500 получим:

$$K_{\text{опт.з(ТМГ2500)}} = \sqrt{\frac{2,25}{22,0}} = 0,3$$

Для проверки выбранной мощности трансформатора определим расчетный коэффициент загрузки по выражению [3]:

$$K_{\text{заг.р}} = \frac{S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i}}{n_{\text{тр.}i} \cdot n_{\text{ТП.}i} \cdot S_{\text{тр.ном.}i}} \quad (30)$$

где $S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i}$ - расчетная мощность i -го цеха основного производства завода среднего машиностроения с учетом выбранных установок УКРМ, кВА;

$n_{\text{тр.}i}$ - число трансформаторов на i -й подстанции основного производства завода среднего машиностроения с учетом выбранных установок УКРМ, для всех подстанций принято $n_{\text{тр.}i} = 2$, шт;

$n_{\text{ТП.}i}$ - число подстанций для питания i -го цеха основного производства завода среднего машиностроения с учетом выбранных установок УКРМ, шт.;

$S_{\text{тр.ном.}i}$ - номинальная мощность трансформатора на i -й подстанции основного производства завода среднего машиностроения с учетом выбранных установок УКРМ, принято $S_{\text{тр.ном.}i} = 2500$,кВА.

По (30) для сварочного цеха основного производства (ТП 8) завода среднего машиностроения получим:

$$K_{\text{заг.р}} = \frac{2788,06}{2 \cdot 1 \cdot 2500} = 0,56$$

Коэффициенты загрузки других цеховых подстанций основного производства завода среднего машиностроения определяется аналогично, результаты сведем в таблицу 19.

Таблица 19 – Расчет коэффициентов загрузки трансформаторов цеховых ТП

Номер ТП	$S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}.i}$, кВА	Тип трансформатора	$K_{\text{заг.р.}}$	$n_{\text{тр}.i}$, шт.
ТП 1	3391,96	ТМГ 2500	0,68	2
ТП 2	4919,68	ТМГ 2500	0,49	2
ТП 3		ТМГ 2500	0,49	2
ТП 4	640,45	ТМГ 2500	0,06	2
ТП 5		ТМГ 2500	0,01	2
ТП 6	3950,36	ТМГ 2500	0,40	2
ТП 7		ТМГ 2500	0,39	2
ТП 8	2788,06	ТМГ 2500	0,56	2
ТП 9	524,6	ТМГ 2500	0,10	2

Для всех трансформаторных подстанций основного производства завода среднего машиностроения расчетный коэффициент загрузки не превышает нормируемый для двух трансформаторных подстанций: 0,7. Таким образом все трансформаторы выбраны правильно [3]. Определим потери активной и реактивной мощностей в выбранных трансформаторах. Потери активной и реактивной мощностей в трансформаторах определяются по выражениям [10]:

$$\Delta P_{\text{тр}.i} = n_{\text{тр}.i} \cdot \left(\frac{P_{\text{кз}}}{n_{\text{тр}.i}} \cdot \left(\frac{S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}.i}}{S_{\text{тр.ном}.i}} \right)^2 + n_{\text{тр}.i} \cdot P_{\text{хх}} \right) \quad (31)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}.i} = n_{\text{тр}.i} \cdot \left(n_{\text{тр}.i} \cdot \frac{i_{\text{хх.}\%}}{100} + \frac{u_{\text{кз.}\%}}{n_{\text{тр}.i} \cdot 100} \cdot \left(\frac{S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}.i}}{S_{\text{тр.ном}.i}} \right)^2 \right) \cdot S_{\text{тр.ном}.i} \quad (32)$$

где $P_{\text{кз}}$ – паспортное значение потерь короткого замыкания. Определяем

для всех трансформаторов по таблице 18, кВт;

$n_{\text{тр}.i}$ – число трансформаторов на i -й подстанции, $n_{\text{тр}.i} = 2$, шт;

$S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}.i}$ – расчетное значение полной мощности i -й трансформаторной подстанции с учетом компенсации реактивной мощности, кВА;

$S_{\text{тр.ном}.i}$ – номинальная мощность трансформатора, принимаем по таблице 18, кВА;

$P_{\text{хх}}$ – паспортное значение потерь холостого хода. Определяем для каждого варианта трансформаторов по таблице 18, кВт;

$i_{\text{хх.}\%}$ - относительное значение тока холостого хода, определяется по таблице 18, %;

$u_{\text{кз.}\%}$ - относительное значение напряжения короткого замыкания, определяется по таблице 18, %.

Для ТП 8 основного производства завода среднего машиностроения:

$$\Delta P_{\text{тр.ТП1}} = 2 \cdot \left(\frac{22,0}{2} \cdot \left(\frac{2788,06}{2500} \right)^2 + 2 \cdot 2,25 \right) = 61,56 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_{\text{тр.ТП1}} = 2 \cdot \left(2 \cdot \frac{0,1}{100} + \frac{6,0}{2 \cdot 100} \cdot \left(\frac{2788,06}{2500} \right)^2 \right) \cdot 2500 = 252,80 \text{ (квар)}$$

Для всех остальных ТП внутризаводской системы электроснабжения расчеты выполняются аналогично ТП 8, результаты сведем в таблицу 19.

Таблица 20 - Результаты расчета потерь мощности в трансформаторах цеховых ТП

Номер ТП	$S_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ.}i}$, кВА	$n_{\text{тр.}i}$, шт.	$\Delta P_{\text{тр.}i}$, кВт	$\Delta Q_{\text{тр.}i}$, квар
ТП 1	3391,96	2	91,07	374,1
ТП 2	4919,68	2	95,5	393,5
ТП 3		2	95,5	393,5
ТП 4	640,45	2	1,62	6,5
ТП 5		2	1,62	6,5
ТП 6	3950,36	2	61,5	253,5
ТП 7		2	61,5	253,5
ТП 8	2788,06	2	61,5	252,80
ТП 9	524,6	2	2,1	8,9

Выполнен выбор трансформаторов для подстанций основного производства завода среднего машиностроения. На всех цеховых ТП к установке приняты однотипные трансформаторы ТМГ 2500/10/0,4 производства ООО «Тольяттинский трансформатор». Данное решение позволит оптимизировать процесс обслуживания трансформаторов.

3.4 Выбор кабельных линий для питания распределительного пункта

Питание распределительного пункта осуществляется от главной понизительной подстанции завода среднего машиностроения. Для выбора питающих кабельных линий необходимо определить расчетный ток по выражению [19]:

$$I_p = \frac{\sqrt{(P_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}} + \sum_{i=1}^5 \Delta P_{\text{тр.}i})^2 + (Q_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}} + \sum_{i=1}^5 \Delta Q_{\text{тр.}i})^2}}{n_{\text{КЛ}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.сети}}} \quad (33)$$

где $P_{\text{расч.}\Sigma.\text{КУ}}$ – расчетная активная мощность всех подстанций основного производства завода среднего машиностроения, кВт;

$\Delta P_{\text{тр.}i}$ – потери активной мощности в трансформаторах i -й ТП, кВт;

$Q_{\text{расч.}i}$ – расчетная реактивная мощность с учетом компенсации i -й ТП, квар;

$\Delta Q_{\text{тр.}i}$ – потери реактивной мощности в трансформаторах i -й ТП, квар;

$n_{\text{КЛ}}$ – количество питающих линий, принимаем $n_{\text{КЛ}} = 2$ шт.;

$U_{\text{ном.сети}}$ – номинальное напряжение питающей сети, принимаем согласно данных раздела 1 ВКР $U_{\text{ном.сети}} = 10$, кВ.

Выполним расчет для линии ГПП-РП по (33):

$$I_p = \frac{\sqrt{(21397,82 + 471,91)^2 + (564,87 + 23254,285)^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 5494,0 \text{ (A)}$$

Полученное значение расчетного тока велико, поэтому для электроснабжения РП используем комплектный токопровод с сечением шины 550 мм² Марку комплектного токопровода выберем по [8] ТЭНЕ-10-6000-250

УХЛ1. Выбранный токопровод необходимо проверить по величине потерь напряжения, определяемых по выражению:

$$\Delta U = U_{\text{ном}} - \left(3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \right) \quad (34)$$

где $I_{\text{расч}}$ – расчетный ток в линии определяемое выражением (33), А;

l – длина линии, км;

r_0 – удельное активное сопротивление шин, Ом/км;

x_0 – удельное индуктивное сопротивление шин, Ом/км;

$\cos \varphi, \sin \varphi$ – значения, соответствующие $\text{tg } \varphi$ в конце токопровода;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение токопровода, В.

Для выбранного токопровода ТЭНЕ-10-6000-250 УХЛ1 по (34) получим:

$$\Delta U = 10 - \left(3 \cdot 5494,0 \cdot 0,78 \cdot (0,253 \cdot 0,99 + 0,092 \cdot 0,14) \right) = 9654,9 \text{ В}$$

Потеря напряжения в линии ГПП-РП составляет 4,5%, что удовлетворяет условиям выбора. Поэтому для питания РП основного производства завода среднего машиностроения принимаем токопровод марки ТЭНЕ-10-6000-250 УХЛ1.

Выбор кабелей выполним по расчетному току [16], определяемому по выражению (33). Для ТП 8 по (33) получим:

$$I_{\text{р.ТП8}} = \frac{\sqrt{(3126,12 + 61,5)^2 + (1938,19 + 252,80)^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 657,1 \text{ (А)} \quad (35)$$

По расчетному значению тока для питания ТП-1 принимаем два кабеля марки АПВБП 3×70/16 [15].

Для остальных ТП основного производства завода среднего машиностроения расчеты сведем в таблицу 21.

Таблица 21 - Результаты выбора кабельных линий для питания ТП

Наименование ТП	$\Delta P_{тр.i},$ кВ	$\Delta Q_{тр.i},$ квар	$P_{расч.Э.КВ.i},$ кВт	$Q_{расч.Э.КВ.i},$ квар	I_p, A	Марка кабеля
1	91,07	374,1	4240,67	2629,21	896,10	АПВБП 3×120/16
2	95,5	393,5	5996,51	10522	1062,57	3×АПВБП 3×70/16
3	95,5	393,5			1062,57	3×АПВБП 3×70/16
4	1,62	6,5	2507,21	3760,815	384,74	АПВБП 3×70/16
5	1,62	6,5			384,74	АПВБП 3×70/16
6	61,5	253,5	4699,22	2913,51	486,04	АПВБП 3×70/16
7	61,5	253,5			486,03	АПВБП 3×70/16
8	61,5	252,80	3126,12	1938,19	657,58	2×АПВБП 3×70/16
9	2,1	8,9	828,09	1490,56	291,38	АПВБП 3×50/16

Выполним проверку кабельных линий, питающих трансформаторные подстанции основного производства завода среднего машиностроения по величине падения напряжения [14] используя выражение (34), для ТП 8:

$$\Delta U = 10 \cdot 10^3 - (3 \cdot 20,6 \cdot 20,6 \cdot 10^{-3} \cdot (0,695 \cdot 0,99 + 0,21 \cdot 0,13)),$$

$$\Delta U = 9971,49 \text{ (В)}$$

Для всех остальных питающих линий расчет выполним аналогично расчету линии до ТП 8, результаты расчетов сведем в таблицу 22

Таблица 22 - Результаты расчета потерь напряжения в питающих линиях

ТП	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	$l, \text{ м}$	I_p, A	$P_{расч.Э.КВ.i}, \text{ кВт}$	$Q_{расч.Э.КВ.i}, \text{ квар}$	$\Delta U, \text{ В}$	$\Delta U, \%$
1	0,13	0,99	645,5	896,10	4240,67	2629,21	9971,52	0,29
2	0,13	0,99	161	1062,57	5996,51	10522	9989,82	0,1
3	0,08	1	91,5	1062,57			9994,21	0,06
4	0,11	0,99	41	384,74	2507,21	3760,815	9993,12	0,07
5	0,01	1	180	384,74			9984,91	0,15
6	0,11	0,99	260,1	486,04	4699,22	2913,51	9671,12	0,06
7	0,11	0,99	282,3	486,03			9898,02	0,29
8	0,08	1	500	657,58	3126,12	1938,19	9971,49	0,1
9	0,13	0,99	465	291,38	828,09	1490,56	9811,12	0,07

Все выбранные кабельные линии питающие трансформаторные подстанции основного производства завода среднего машиностроения

удовлетворяют условиям выбора, относительные потери напряжения не превышают 0,3%.

Вывод по разделу.

Определен центр электрических нагрузок, в котором принято решение разместить распределительный пункт, обеспечивающий питание трансформаторных подстанций цехов основного производства завода среднего машиностроения. Распределительный пункт запитан от шин главной понизительной подстанции завода среднего машиностроения. Размещение установок компенсации реактивной мощности предложено выполнить на цеховых трансформаторных подстанциях позволяет снизить перетоки реактивной мощности по распределительной сети, а также снизить загрузку распределительных трансформаторов основного производства завода среднего машиностроения.

К установке на ТП приняты трансформаторы марки ТМГ – трехфазные (Т) масляные (М) герметичные (Г) трансформаторы производства ООО «Тольяттинский трансформатор» мощностью 2500 кВА. К установке на всех цеховых ТП приняты силовые трансформаторы одинаковой мощности равной 2500 кВА. Данное решение позволит упростить процесс ремонта и обслуживания силовых трансформаторов в эксплуатации.

Для питания распределительного пункта от ГПП завода среднего машиностроения выбран токопровод марки ТЭНЕ-10-6000-250 УХЛ1. Выбранный токопровод проверен по величине падения напряжения, относительное значение которого, не превысило 5%. Для питания цеховых трансформаторных подстанций основного производства завода среднего машиностроения выбраны кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) марки АПВБП с сечениями жил от 50 мм² до 120 мм². Относительные потери напряжения в линиях не превысили 0,29%.

4 Токи короткого замыкания и проверка оборудования

В рамках раздела выполнен расчет токов короткого замыкания системы электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения.

4.1 Расчетная схема и схема замещения для определения токов короткого замыкания

На первом этапе расчета токов короткого замыкания составляется схема замещения и определяются ее параметры [5]. В схеме замещения необходимо учесть оборудование главной понизительной подстанции, и оборудование распределительной сети. Схему замещения составим до наиболее загруженной подстанции основного производства завода среднего машиностроения. Согласно данным предыдущих разделов ВКР наиболее загруженной подстанцией является подстанция компрессорной станции основного производства (ТП 1) завода среднего машиностроения. Согласно данным расчета коэффициент загрузки ТП 1 в режиме максимальных нагрузок составляет $K_{\text{заг.р.}} = 0,68$. Расчетная схема для расчета токов короткого замыкания (КЗ) представлена на рисунке 5.

Расчет токов короткого замыкания выполняется на стороне выше 1000 В системы электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения, так как все оборудование выбиралось на стороне 10 кВ. При расчете токов КЗ на стороне выше 1000 В учитываются только индуктивные сопротивления всех элементов входящих в расчетную схему. Сопротивления выключателей и шин распределительных устройств не учитываются [6].

Схема замещения, составленная на основании расчетной схемы (рисунок 4), а также на основании условий расчета токов КЗ на напряжении выше 1000 В представлена на рисунке 5.

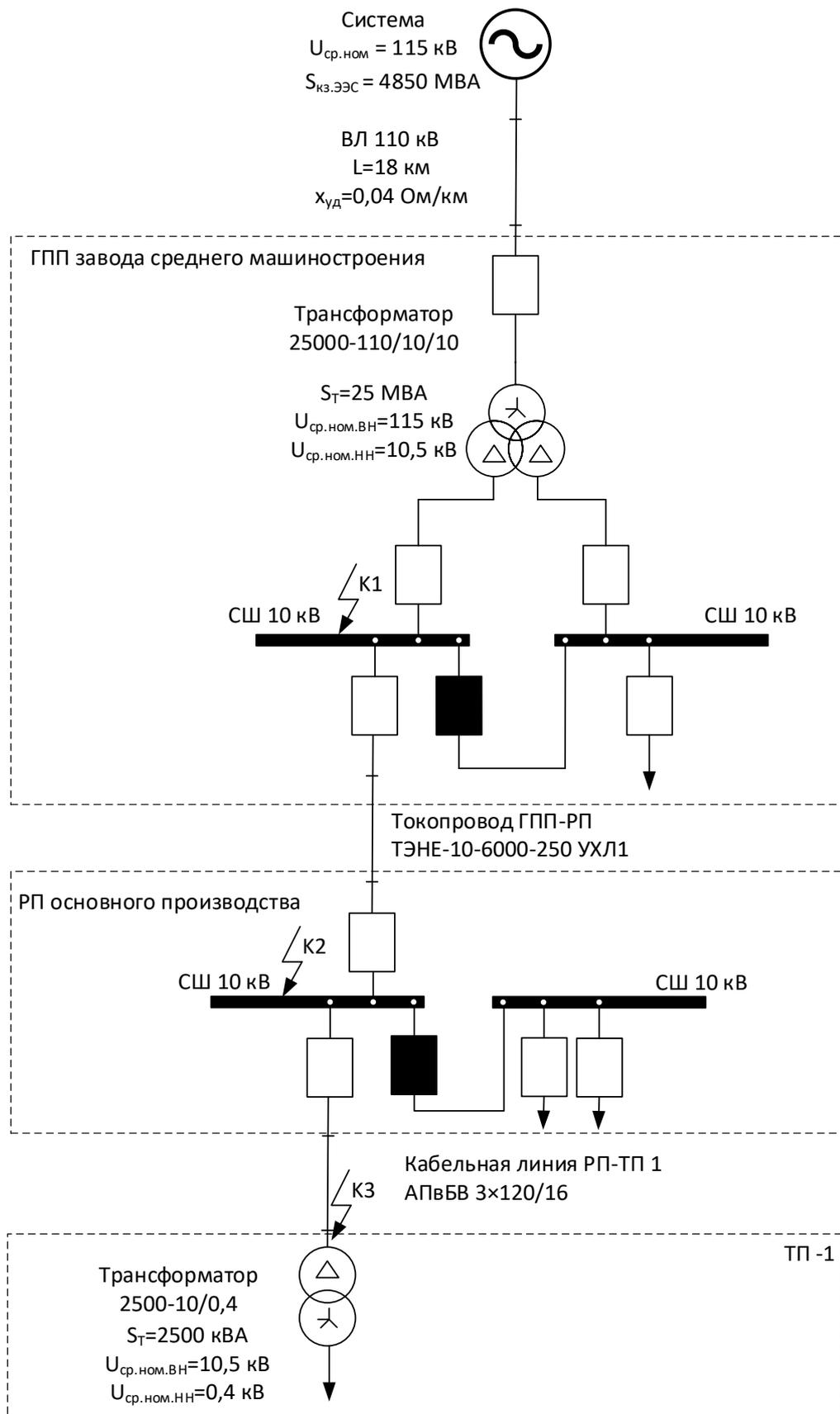


Рисунок 4 - Расчетная схема

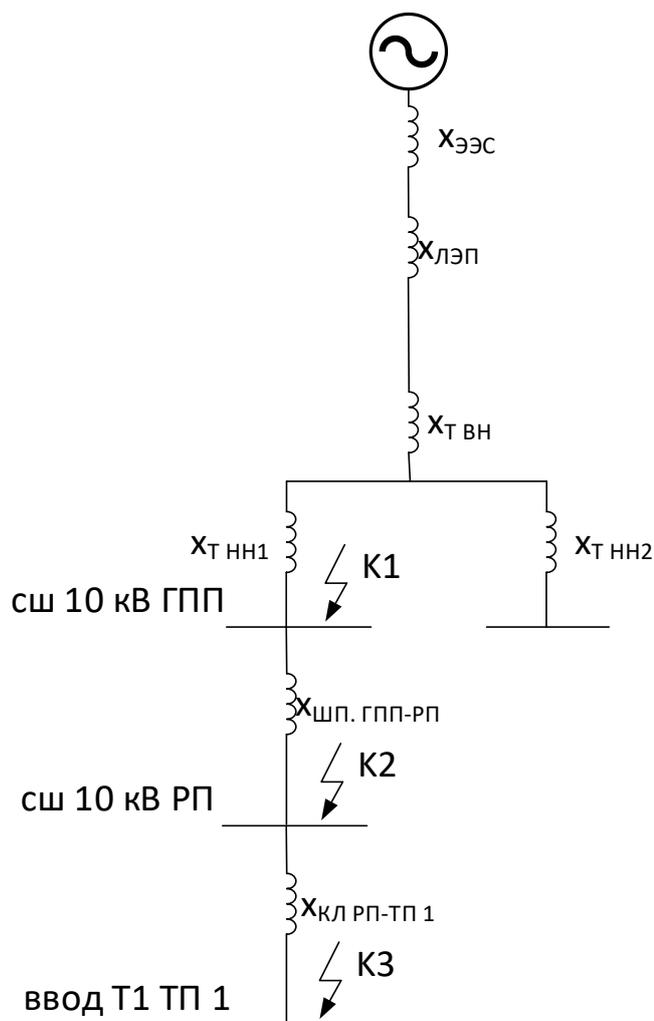


Рисунок 5 - Схема замещения

Для схемы замещения, представленной на рисунке 5 необходимо определить параметры входящих в нее элементов – индуктивных сопротивлений [11].

Сопротивление энергосистемы:

$$x_{ЭЭС} = \frac{S_б}{S_{кз.ЭЭС}} = \frac{1000}{4850} = 0,2 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление линии 110 кВ от энергосистемы до ГПП завода среднего машиностроения:

$$x_{\text{ЛЭП}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср.ном}}^2} = 0,4 \cdot 18 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,544 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление обмотки высокого напряжения трансформатора ГПП завода среднего машиностроения:

$$x_{\text{Т.ВН}} = \frac{U_{\text{кз.ВН}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{транс.ГПП}}} = \frac{1,13}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 0,45 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление обмотки низкого напряжения трансформатора ГПП:

$$x_{\text{Т.НН}} = \frac{U_{\text{кз.НН}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{транс.ГПП}}} = \frac{18,4}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 7,4 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление шинпровода 10 кВ от ГПП до РП основного производства завода среднего машиностроения:

$$x_{\text{ШП.ГПП-РП}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср.ном}}^2} = 0,089 \cdot 0,78 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,629 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление кабельной линии 10 кВ от РП основного производства завода среднего машиностроения до ТП 1 компрессорной станции:

$$x_{\text{КЛ РП-ТП 1}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср.ном}}^2} = 0,104 \cdot 0,041 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,038 \text{ (о. е)}$$

Определим сопротивления до каждой расчетной точки согласно схеме замещения (рисунок 5).

Сопротивление до расчетной точки К1 (рисунок 5):

$$x_{\Sigma.K1} = x_{\text{ЭЭС}} + x_{\text{ЛЭП}} + x_{\text{Т.ВН}} + x_{\text{Т.НН}}$$

$$x_{\Sigma.K1} = 0,2 + 0,544 + 0,45 + 7,4 = 58,59 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление до расчетной точки К2 (рисунок 5):

$$x_{\Sigma.K2} = x_{\Sigma.K1} + x_{\text{ШП.ГПП-РП}},$$

$$x_{\Sigma.K2} = 58,59 + 0,62 = 59,21 \text{ (о. е)}$$

Сопротивление до расчетной точки К3 (рисунок 5):

$$x_{\Sigma.K3} = x_{\Sigma.K2} + x_{\text{КЛ РП-ТП1}} = 59,21 + 0,038 = 59,24 \text{ (о. е)}$$

Расчетные значения сопротивлений до расчетных точек К3 сведем в таблицу 23.

Таблица 23 - Результирующие сопротивления до точек К3

Расчетная точка	Обозначение параметра	Значение параметра
К 1	$x_{\Sigma.K1}$	58,59
К 2	$x_{\Sigma.K2}$	59,21
К 3	$x_{\Sigma.K3}$	59,24

Составлены расчетная схема и схема замещения для определения токов короткого замыкания в системе электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения.

Для схемы замещения определены параметры и результирующие сопротивления до трех расчетных точек короткого замыкания. На основе полученных значений выполним расчет токов короткого замыкания в спроектированной системе электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения.

4.2 Расчет токов короткого замыкания

Для каждой расчетной точки согласно схеме замещения (рисунок 5) определим значения базисных токов.

Базисный ток для точек К1, К2 и К3 будет иметь одинаковые значения так как на этой части сети не происходит трансформации напряжения.

Базисный ток для К1, К2 и К3:

$$I_{\text{баз}} = I_{\text{баз.К1}} = I_{\text{баз.К2}} = I_{\text{баз.К3}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,98 \text{ (кА)}$$

Трехфазный ток короткого замыкания в точке К1:

$$I_{\text{п0.К1}}^{(3)} = \frac{E''_{*6}}{x_{\Sigma.К1}} \cdot I_{\text{баз}} = \frac{1}{58,59} \cdot 54,98 = 0,93 \text{ (кА)}$$

Трехфазный ток короткого замыкания в точке К2:

$$I_{\text{п0.К2}}^{(3)} = \frac{E''_{*6}}{x_{\Sigma.К2}} \cdot I_{\text{баз}} = \frac{1}{59,21} \cdot 54,98 = 0,92 \text{ (кА)}$$

Трехфазный ток короткого замыкания в точке К3:

$$I_{\text{п0.К3}}^{(3)} = \frac{E''_{*6}}{x_{\Sigma.К3}} \cdot I_{\text{баз.К3}} = \frac{1}{59,24} \cdot 54,98 = 0,92 \text{ (кА)}$$

Ударный ток трехфазного КЗ в точке К1:

$$i_{\text{уд.К1}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0.К1}}^{(3)} \cdot K_{\text{уд.К1}} = \sqrt{2} \cdot 0,93 \cdot 1,8 = 2,36 \text{ (кА)}$$

Ударный ток трехфазного КЗ в точке К2:

$$i_{уд.К2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.К2}^{(3)} \cdot K_{уд.К2} = \sqrt{2} \cdot 0,92 \cdot 1,9 = 2,46 \text{ (кА)}$$

Ударный ток трехфазного КЗ в точке К3:

$$i_{уд.К3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.К3}^{(3)} \cdot K_{уд.К3} = \sqrt{2} \cdot 0,92 \cdot 1,94 = 2,51 \text{ (кА)}$$

Для системы электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения выполним расчет двухфазных токов короткого замыкания.

Для расчета двухфазных токов короткого замыкания примем согласно [11], что сопротивления прямой и обратной последовательностей равны. Расчет двухфазных токов КЗ выполним для точек К2 и К3, для проверки оборудования распределительной сети основного производства завода среднего машиностроения.

Двухфазный ток короткого замыкания в точке К2:

$$I_{п0.К2}^{(2)} = \frac{3 \cdot I_{баз.К2} \cdot E''_{*6}}{2 \cdot x_{\Sigma.К2}} = \frac{3 \cdot 54,98 \cdot 1}{2 \cdot 59,21} = 1,39 \text{ (кА)}$$

Ударный ток двухфазного короткого замыкания в точке К2:

$$i_{уд.К2}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.К2}^{(2)} \cdot K_{уд.К2} = \sqrt{2} \cdot 1,39 \cdot 1,9 = 3,72 \text{ (кА)}$$

Двухфазный ток короткого замыкания в точке К3:

$$I_{п0.К3}^{(2)} = \frac{3 \cdot I_{баз.К3} \cdot E''_{*6}}{2 \cdot x_{\Sigma.К3}} = \frac{3 \cdot 54,98 \cdot 1}{2 \cdot 59,24} = 1,39 \text{ (кА)}$$

Ударный ток двухфазного короткого замыкания в точке К3:

$$i_{уд.КЗ}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.КЗ}^{(2)} \cdot K_{уд.КЗ} = \sqrt{2} \cdot 1,39 \cdot 1,9 = 3,72 \text{ (кА)}$$

Полученные расчетные значения токов короткого замыкания сведем в таблицу 24.

Таблица 24 - Результаты расчета токов короткого замыкания

Вид короткого замыкания	Тип тока КЗ	Точки короткого замыкания		
		К1	К2	К3
Трехфазное КЗ, кА	$I_{п0}^{(3)}$	0,93	0,92	0,92
	$i_{уд}^{(3)}$	2,36	2,46	2,51
Двухфазное КЗ, кА	$I_{п0}^{(2)}$	-	1,39	1,39
	$i_{уд}^{(2)}$	-	3,72	3,72

Выводы по разделу.

Для расчета токов КЗ составлена схема замещения, для которой определены параметры и результирующие сопротивления до трех расчетных точек КЗ. Выполнен расчет токов КЗ в спроектированной системе электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения. По результатам расчета токов короткого замыкания определены значения трехфазного тока КЗ на шинах 10 кВ ГПП завода среднего машиностроения – точка К1. В точке К1 $I_{п0.К1}^{(3)} = 0,93$ кА, $i_{уд.К1}^{(3)} = 2,36$ кА. Также выполнен расчет токов КЗ на шинах РП 10 кВ основного производства завода среднего машиностроения – точка К2. В точке К2 $I_{п0.К2}^{(3)} = 0,92$ кА, $i_{уд.К2}^{(3)} = 2,46$ кА. В точке К3 – ввод трансформатора Т1 трансформаторной подстанции ТП 1 $I_{п0.КЗ}^{(3)} = 0,92$ кА, $i_{уд.КЗ}^{(3)} = 2,51$ кА. Выполнен расчет несимметричных токов короткого замыкания в распределительной сети основного производства завода среднего машиностроения – точки К2 и К3. Ток двухфазного короткого замыкания в точке К2 $I_{п0.К2}^{(2)} = 1,39$ кА, $i_{уд.К2}^{(2)} = 3,72$ кА. В точке К3 – ввод трансформатора Т1 трансформаторной подстанции ТП 1 ток двухфазного короткого замыкания $I_{п0.КЗ}^{(2)} = 1,39$ кА, $i_{уд.КЗ}^{(2)} = 3,72$ кА.

5 Выбор и расчет уставок цифровых интеллектуальных устройств релейной защиты

Для защиты трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций необходимо выбрать и рассчитать устройства релейной защиты и автоматики. Согласно современным требованиям и уровню развития микропроцессорной техники в качестве устройств защиты используются цифровые блоки релейной защиты [22]. По сравнению с устаревшими электромеханическими и аналоговыми устройствами релейной защиты цифровые блоки позволяют реализовать большое число функций защиты в одном блоке [23]. Также данные устройства имеют внутреннюю логику работы, которая может быть скорректирована под конкретный случай использования релейной защиты [26]. В большинстве случаев подобные микропроцессорные блоки с гибкой внутренней логикой называются цифровыми интеллектуальными устройствами релейной защиты и автоматики [22].

В разделе 4 ВКР был выполнен расчет токов короткого замыкания до ТП 1 внутризаводской распределительной сети основного производства завода среднего машиностроения. Исходя из этого выполним расчет микропроцессорного устройства релейной защиты для трансформаторов ТП1 [24].

Рассмотрим цифровой интеллектуальный блок, реализующий защиту распределительного трансформатора производства ООО «НТЦ «Мехатроника».

Рассматривая защиту трансформатора необходимо рассматривать шины ГПП завода среднего машиностроения как внешнюю ЭЭС. Выполним расчет сопротивления системы для ТП 2 по выражению:

$$x_{\text{ЭЭС.ГПП}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{п0}}^{(3)}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,93} = 6,518 \text{ (Ом)}$$

Выполним приведение сопротивления системы (шин ГПП завода среднего машиностроения) к напряжению обмотки низкого напряжения трансформатора ТП 2 по выражению:

$$x_{\text{ЭЭС.ГПП.пр}} = x_{\text{ЭЭС.ГПП}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НН.НОМ}}}{U_{\text{ВН.НОМ}}} \right)^2 = 6,518 \cdot \left(\frac{0,38}{10,5} \right)^2 = 0,008 \text{ (МОм)}$$

Сопротивление трансформатора Т1 цеховой ТП 1 по данным таблицы 18 определим по выражению:

$$x_{\text{Т1.ТП2}} = \frac{u_{\text{кз.}\%}}{100} \cdot \frac{(U_{\text{НН.НОМ}})^2}{S_{\text{тр.НОМ}}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{(0,38)^2}{2,5} = 0,0035 \text{ (МОм)}$$

Трехфазный ток короткого замыкания на стороне низкого напряжения трансформатора:

$$I_{\text{п0.Т1.ТП2}}^{(3)} = \frac{U_{\text{НН.НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot (x_{\text{Т1.ТП2}} + x_{\text{ЭЭС.ГПП.пр}})} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot (0,0035 + 0,008)} = 2,65 \text{ (кА)}$$

Ток срабатывания токовой отсечки (ТО):

$$I_{\text{с.з.ТО}} = 1,3 \cdot I_{\text{п0.Т1.ТП2}}^{(3)} = 1,3 \cdot 2,65 = 3,446 \text{ (кА)}$$

Ток срабатывания максимальной токовой защиты (МТЗ):

$$I_{\text{с.з.МТЗ}} = K_{\text{отс.}} \cdot K_{\text{сз.ЭД}} \frac{K_{\text{заг.АВ}} \cdot I_{\text{тр.НОМ}}}{K_{\text{В}}} \quad (36)$$

где $K_{\text{отс.}}$ – коэффициент отстройки. Согласно [21] $K_{\text{отс.}} = 1,2$;

$K_{\text{сз.ЭД}}$ – коэффициент учитывающий самозапуск электрических двигателей подключенных к шинам ТП 1. Согласно [21] $K_{\text{сз.ЭД}} = 2$;

$K_{\text{заг.АВ}}$ – допустимый коэффициент загрузки трансформатора. Для двухтрансформаторных ТП $K_{\text{заг.АВ}} = 1,4$;

$I_{\text{тр.ном}}$ – номинальный ток трансформатора, определяется по выражению (37), А;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент возврата. Согласно [21] $K_{\text{в}} = 0,95$.

Номинальный ток трансформатора:

$$I_{\text{тр.ном}} = \frac{S_{\text{тр.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН.ном}}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 3608 \text{ (А)} \quad (37)$$

По (36) с учетом значения полученного в (37):

$$I_{\text{с.з.МТЗ}} = 1,2 \cdot 2 \cdot \frac{1,4 \cdot 3608}{0,95} = 12760,92 \text{ (А)}$$

Ток срабатывания защиты трансформатора от перегрузки:

$$I_{\text{с.з.ПГ}} = 1,05 \cdot \frac{I_{\text{тр.ном}}}{K_{\text{в}}} = 1,05 \cdot \frac{3608}{0,95} = 3987,8 \text{ (А)}$$

Для ввода рассчитанных уставок срабатывания релейной защиты трансформатора, установленного на ТП 1 необходимо расчетные значения токов срабатывания привести к вторичному току измерительных трансформаторов тока.

В общем виде ток срабатывания реле определяется по выражению:

$$I_{\text{с.р.}i} = \frac{I_{\text{с.з.}i}}{K_{\text{ТТ}}} \cdot \frac{U_{\text{НН.ном}}}{U_{\text{ВН.ном}}} \quad (38)$$

где $I_{\text{с.з.}i}$ – ток срабатывания защиты i -го вида, А;

$K_{ТТ}$ – коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока, принимаем $K_{ТТ} = 30$

По (38) для токовой отсечки получим:

$$I_{с.р.ТО} = \frac{3446}{30} \cdot \frac{0,38}{10,5} = 4,157 \text{ (А)}$$

По (38) для максимальной токовой защиты получим:

$$I_{с.р.МТЗ} = \frac{12760,92}{30} \cdot \frac{0,38}{10,5} = 15,39 \text{ (А)}$$

По (38) для защиты от перегрузки получим:

$$I_{с.р.ПГ} = \frac{3987,8}{30} \cdot \frac{0,38}{10,5} = 4,81 \text{ (А)}$$

Полученные значения срабатывания релейной защиты вводятся в интеллектуальный цифровой блок релейной защиты марки БМРЗ-150 производства отечественного лидера микропроцессорных терминалов релейной защиты ООО «НТЦ «Мехатроника».

Выводы по разделу.

Для защиты спроектированной системы внутризаводского электроснабжения выбраны интеллектуальные цифровые блоки защиты марки БМРЗ-150, производства ООО «НТЦ «Мехатроника». Выполнен подробный расчет уставок основных защит трансформатора ТМГ-2500/10/0,4 кВ для ТП 1. Выполнен расчет уставок срабатывания токовой отсечки, максимальной токовой защиты и защиты от перегрузки.

Заключение

В выпускной квалификационной работе выполнено проектирование системы электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения, расположенного в Приволжском федеральном округе.

Первым этапом выполнения проекта электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения предельно генеральный план объекта выпускной квалификационной работы. Представлен состав цехов основного производства завода среднего машиностроения и дано описание производимой продукции. Питание основного производства осуществляется от главной понизительной подстанции установленной мощностью 50 МВА.

На втором этапе по результатам первого этапа определены суммарные нагрузки основного производства завода среднего машиностроения. Полученные значения расчетных нагрузок необходимы для выполнения последующих этапов проектирования системы электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения, а именно, для выбора трансформаторов подстанций распределительной сети и выбора питающих линий.

На втором этапе ВКР также выполнен подробный расчет электрических нагрузок инструментального цеха. Электрические нагрузки рассчитаны с учетом условий и режимов работы основного технологического оборудования инструментального цеха и спроектированной системы освещения помещений цеха. Получены значения активной $P_{\text{расч.ИЦ}} = 161,5$ (кВт) реактивной $Q_{\text{расч.ИЦ}} = 226,6$ (квар) и полной $S_{\text{расч.ИЦ}} = 279$ (кВА).

Для системы освещения инструментального цеха использованы светодиодные светильники. Для помещения основного производства использован светодиодный светильник марки ANTARES S – 49 шт., для бытовых помещений использован светильник марки TITAN-2 – 9 шт., для всех остальных помещений ANTARES – 24 шт.

Для основного производства завода среднего машиностроения расчетное значение активной мощности $P_{\text{расч.ОПЗСМ}} = 21718,01$ (кВт), реактивной мощности $Q_{\text{расч.ОПЗСМ}} = 18874,3$ (квар) и полной мощности $S_{\text{расч.ОПЗСМ}} = 30362,18$ (кВА).

На третьем этапе разработки проекта электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения определен центр электрических нагрузок, в котором принято решение разместить распределительный пункт, обеспечивающий питание трансформаторных подстанций цехов основного производства завода среднего машиностроения. Распределительный пункт запитан от шин главной понизительной подстанции завода среднего машиностроения. Размещение установок компенсации реактивной мощности предложено выполнить на цеховых трансформаторных подстанциях позволяет снизить перетоки реактивной мощности по распределительной сети, а также снизить загрузку распределительных трансформаторов основного производства завода среднего машиностроения.

К установке на ТП приняты трансформаторы марки ТМГ – трехфазные (Т) масляные (М) герметичные (Г) трансформаторы производства ООО «Тольяттинский трансформатор» мощностью 2500 кВА. К установке на всех цеховых ТП приняты силовые трансформаторы одинаковой мощности равной 2500 кВА. Данное решение позволит упростить процесс ремонта и обслуживания силовых трансформаторов в эксплуатации.

Для питания распределительного пункта от ГПП завода среднего машиностроения выбран токопровод марки ТЭНЕ-10-6000-250 УХЛ1. Выбранный токопровод проверен по величине падения напряжения, относительное значение которого, не превысило 5%. Для питания цеховых трансформаторных подстанций основного производства завода среднего машиностроения выбраны кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) марки АПВБП с сечениями жил от 50 мм² до 120 мм². Относительные потери напряжения в линиях не превысили 0,29%.

Для выбора интеллектуальных цифровых устройств релейной защиты необходимо выполнить первоначально расчет токов короткого замыкания. Для расчета токов КЗ составлена схема замещения, для которой определены параметры и результирующие сопротивления до трех расчетных точек КЗ. Выполнен расчет токов КЗ в спроектированной системе электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения. По результатам расчета токов короткого замыкания определены значения трехфазного тока КЗ на шинах 10 кВ ГПП завода среднего машиностроения – точка К1. В точке К1 $I_{п0.К1}^{(3)} = 0,93$ кА, $i_{уд.К1}^{(3)} = 2,36$ кА. Также выполнен расчет токов КЗ на шинах РП 10 кВ основного производства завода среднего машиностроения – точка К2. В точке К2 $I_{п0.К2}^{(3)} = 0,92$ кА, $i_{уд.К2}^{(3)} = 2,46$ кА. В точке КЗ – ввод трансформатора Т1 трансформаторной подстанции ТП 1 $I_{п0.КЗ}^{(3)} = 0,92$ кА, $i_{уд.КЗ}^{(3)} = 2,51$ кА. Выполнен расчет несимметричных токов короткого замыкания в распределительной сети основного производства завода среднего машиностроения – точки К2 и КЗ. Ток двухфазного короткого замыкания в точке К2 $I_{п0.К2}^{(2)} = 1,39$ кА, $i_{уд.К2}^{(2)} = 3,72$ кА. В точке КЗ – ввод трансформатора Т1 трансформаторной подстанции ТП 1 ток двухфазного короткого замыкания $I_{п0.КЗ}^{(2)} = 1,39$ кА, $i_{уд.КЗ}^{(2)} = 3,72$ кА.

Для защиты спроектированной системы внутризаводского электроснабжения выбраны интеллектуальные цифровые блоки защиты марки БМРЗ-150, производства ООО «НТЦ «Мехатроника». Выполнен подробный расчет уставок основных защит трансформатора ТМГ-2500/10/0,4 кВ для ТП 1.

Выполнен расчет уставок срабатывания токовой отсечки, максимальной токовой защиты и защиты от перегрузки.

Цель выпускной квалификационной работы достигнута, поставленные задачи выполнены. Спроектирована система электроснабжения основного производства завода среднего машиностроения с применением интеллектуальных цифровых устройств защиты.

Список используемой литературы

1. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий. Методические указания к курсовому проектированию. Тольятти: ТГУ, 2006. 78 с.
2. Галимова А.А. Критерии выбора коэффициента загрузки силового трансформатора при проектировании подстанций распределительных сетей // Проблемы энергетики, Т. 5, № 6, 2013. С. 66-71.
3. ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91). Руководство по нагрузке силовых масляных.
4. ГОСТ 9680-77. Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВ·А и более. Ряд номинальных мощностей. М.: Издательство стандартов, 1977. 4 с.
5. ГОСТ Р 52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. М.: Стандартинформ, 2007. 39 с.
6. Ерошенко С.А., Егоров А.О., Сенюк М.Д., Загидулин М.Р., Зиновьев К.А., Хальясмаа А.И. Расчет коротких замыканий в энергосистемах: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2019. 108 с.
7. Казарин В.Е. Совершенствование методики расчета освещения методом удельной мощности светодиодными световыми приборами сельскохозяйственных предприятий и организаций // Процессы и машины агроинженерных систем, Т. 2, № 172, 2019. С. 172-176.
8. Каталог продукции [Электронный ресурс] // Волжский светотехнический завод: [сайт]. [2024]. URL: <https://vstzluch.ru/catalogue> (дата обращения: 01.02.2024).
9. Конденсаторные установки АУКРМ-0,4 [Электронный ресурс] // Официальный сайт завода "Элком-Энерго" : [сайт]. [2024]. URL: https://elcom-energo.ru/catalog/kondensatornye-ustanovki-0-4-kv-krm-ukrm-aukrm-ukm58-aku-kku-i-drugie/reguliruemye-kondensatornye-ustanovki-aukrm-0-4/?PAGEN_1=5 (дата обращения: 11.04.2024).

10. Конюхова Е.А. Электроснабжение. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. 510 с.
11. Крючков Н.П. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования. М.: Академия, 2015.
12. Кускин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
13. ООО "Тольяттинский Трансформатор". Трансформаторы силовые серии ТМГ // Официальный сайт производителя трансформаторного оборудования ООО "Тольяттинский Трансформатор". 2014. URL: https://www.transformator.com.ru/upload/iblock/6e1/2014_Transformatory-silovye-serii-TMG.pdf (дата обращения: 05.02.2024).
14. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. М.: Форум, 2020. 416 С.
15. Официальный сайт ООО "Камский Кабель" // Настольная книга проектировщика. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6-35 кВ. 2023. URL: https://www.kamkabel.ru/netcat_files/userfiles/6-35-www.pdf (дата обращения: 10.04.2024).
16. Пастухова И.В., Насановский Л.Г. Особенности расчета электрокабелей высокого напряжения // Информационный вестник, Т. 14, № 3, 2014. С. 9-11.
17. Правила устройства электроустановок. 7-е-е изд. Москва: Издательство Проспект, 2020. 832 с.
18. Программа для расчета освещения DIALuxEvo [Электронный ресурс] // DIALux: [сайт]. [2024]. URL: <https://www.dialux.com/en-GB/download> (дата обращения: 12.01.2024).
19. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М.: Академия, 2013. 449 с.
20. Смирнов АГ, редактор. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. М: ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ, 1992. 12 с.

21. Соловьев АЛ, редактор. СТО ДИВГ-059-2017. Релейная защита распределительных сетей 6-10 кВ. Расчет уставок. Методические указания. Санкт-Петербург: ООО "НТЦ "Механотроника", 2017. 74 с.
22. Blackburn J.L., Domin T.J. Protective Relaying: Principles and Applications. 4th ed. CRC Press, 2014. 695 pp.
23. CISCO. Substation Automation - The New Digital Substation // Cisco Systems, Inc. 2023. URL: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/docs/solutions/Verticals/Utilities/SA/3-1/IG/SA-3-1-IG.pdf> (дата обращения: 02.03.2024).
24. Dharmesh P., Nilesh C. Digital Protective Schemes for Power Transformer. Singapore: Springer, 2020. 193 pp.
25. Gonen T. Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design. 3rd ed. CRC Press, 2014. 1093 pp.
26. Kersting W.H. Distribution System Modeling and Analysis. 4th ed. CRC Press, 2017. 546 pp.