

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение завода «Кабельпласт»

Студент(ка)

И.Г. Мясников

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шаповалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина _____

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

АННОТАЦИЯ

В данной выпускной квалификационной работе запроектирована система электроснабжения завода "Кабельпласт". Был произведен выбор схемы распределительной сети, расчет электрических нагрузок, расчет осветительной сети, выбор числа и мощности трансформаторов для цеховых и главной понизительной подстанции, выбор аппаратов защиты и управления, расчет токов короткого замыкания, выбор токоведущих частей и электрооборудования подстанции и расчет заземления.

Графическая часть выполнена на шести листах формата А1 и включает в себя генеральный план предприятия, схему однолинейную принципиальную, схему однолинейную внутрицеховой сети, план силовой распределительной сети, план осветительной сети и план трансформаторной подстанции.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	9
1.1 Характеристика завода и требования к электроснабжению	9
1.2 Выбор рода тока и напряжения	11
1.3 Выбор схемы распределительной сети	12
2 РАСЧЕТ РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА	13
2.1 Расчет электрических нагрузок	13
2.2 Расчет осветительной сети	23
2.3 Компенсация реактивной мощности	27
2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов	28
2.5 Выбор аппаратов защиты и управления	31
2.6 Расчет заземления	35
3 РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПО ПРЕДПРИЯТИЮ	36
3.1 Расчет электрических нагрузок по предприятию	36
3.2 Выбор типа, числа и мощности цеховых трансформаторов подстанции	39
4 РАСЧЕТ ГЛАВНОЙ ПОНИЗИТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ	44
4.1 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП	44
4.2 Расчет токов короткого замыкания	50
4.3 Выбор токоведущих частей и электрооборудования подстанции	56
4.4 Расчет заземления	59
4.5 Расчет молниезащиты	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
ЛИТЕРАТУРА	63

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ

Основные характеристики потребителей и системы завода:

1. Суммарная установленная мощность электроприёмников предприятия до 1 кВ составляет 12714 кВт

2. К 1 категории надёжности электроснабжения относятся:

- Компрессорная
- Насосная станция
- Котельная

Ко 2 категории надёжности электроснабжения относятся:

- Сборочный цех
- Производственный корпус №1
- Механический цех
- Корпус №1
- Производственный корпус №2
- Депо
- Корпус №2

К 3 категории надёжности электроснабжения относятся:

- Гараж
- Склад готовой продукции №1
- Административно-бытовой корпус
- Склад материальный №1
- Склад материальный №2
- Склад готовой продукции №2
- Ремонтно-механический цех
- Склад металла

3. Полная расчётная мощность на шинах ГПП составляет 6992 кВА.

4. Естественный $\cos\varphi = 0,77$, с КУ $\cos\varphi = 0,92$

5. Предприятие получает питание от внешнего источника напряжением 35 кВ.

6. Мощность короткого замыкания в точке присоединения к энергосистеме питающих предприятие линий равна 165,3 МВА.
7. Расстояние до питающей подстанции 15 км, воздушная линия электроснабжения, выполненная проводом марки АС-120.
8. На ГПП установлены два трансформатора ТМН 6300/35-10
9. Внутреннее электроснабжение предприятия выполнено на напряжении 10 кВ.
10. Тип ячеек РП – КРУ
11. Всего на предприятии 10 ТП, на каждой ТП используются трансформаторы типа ТМ 10-0,4
 - ТП-1 – 113 кВт
 - ТП-2 – 1289 кВт
 - ТП-3 – 597 кВт
 - ТП-4 – 275 кВт
 - ТП-5 – 1035 кВт
 - ТП-6 – 465 кВт
 - ТП-7 – 278 кВт
 - ТП-8 – 1589 кВт
 - ТП-9 – 408 кВт
 - ТП-10 – 583 кВт
12. Кабельные линии на предприятии выполнены кабелем ВВГ. Далее приведены количество и сечение для каждого ТП:
 - ТП-1 – 3x50
 - ТП-2 – 3x160
 - ТП-3 – 3x120
 - ТП-4 – 3x50
 - ТП-5 – 3x160
 - ТП-6 – 3x95
 - ТП-7 – 3x50
 - ТП-8 – 3x240
 - ТП-9 – 3x95
 - ТП-10 – 3x95

ВВЕДЕНИЕ

Система электроснабжения является важной инженерной сетью на промышленном предприятии. Она обеспечивает работу технологического оборудования и всего предприятия в целом.

В настоящее время большую роль играет вопрос правильного проектирования систем электроснабжения предприятий. С появлением новых технологий и требований к промышленной энергетике, системы электроснабжения так же становятся более современными и энергоэффективными. Приоритетными качествами для систем электроснабжения являются ее экономичность, надежность, долговечность, энергоэффективность и бесперебойность работы.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Характеристика завода и требования к электроснабжению

Механический цех выполняет вспомогательные работы и заказы основных цехов завода «Кабельпласт».

Механический цех предназначен для обслуживания и ремонта электрического, термического и станочного оборудования. Для этой цели в цехе предусмотрены: станочный участок, сварочное отделение, компрессорная, производственные и служебные помещения.

Здание механического цеха состоит из железобетонных конструкций. Его площадь $S = 2520 \text{ м}^2$, ширина 42 м, длина 60 м, высота 8 м. Для его освещения применяют лампы типа ДРЛ. На каждом рабочем месте предусмотрено местное освещение.

Основными потребителями являются асинхронные двигатели станков с нормальным режимом работы. В качестве электропривода служат электродвигатели защищенного исполнения.

Для выполнения вспомогательных работ, для подвоза тяжёлых деталей применяются электропогрузчики и электротележки.

Стены внутри помещения выкрашены светло-зелёной краской, потолок побелён, пол бетонный. Помещение цеха и сам цех, относятся ко второй и третьей категории потребителей электроэнергии.

Цех взрывопожароопасен. Для защиты людей от поражения электрическим током имеется заземление, общее до 1000В и выше. Цех оборудован вентиляцией.

На расстоянии 15 км от территории завода находится питающая подстанция (напряжение 35 кВ), которая соединяется воздушной линией с главной понизительной подстанцией предприятия.

В техническом задании на проектирование заданы установленная мощность электроприемников и их приведенное число (таблицы 1.1 и 1.2).

Таблица 1.1 – Завод «Кабельпласт»

№ п/п	Наименование цеха, отделения, участка	Установленная мощность P_H электроприемников напряжением 0,4кВ,кВт	Приведенное число электропри- емников, n_3
1	Гараж	150	15
2	Склад готовой продукции №1	193	6
3	Сборочный цех	85	7
4	Компрессорная	140	8
5	Насосная станция	506	6
6	Производственный корпус №1	3155	87
7	Административно- бытовой корпус	534	21
8	Котельная	1218	24
9	Механический цех	см. таблица 1.2	
10	Корпус №1	404	23
11	Производственный корпус №2	3538	70
12	Склад материальный №1	84	5
13	Депо	105	12
14	Корпус №2	530	39
15	Склад материальный №2	501	16
16	Склад готовой продукции №2	193	6
17	Склад металла	177	10
18	Ремонтно- механический цех	312	19

Таблица 1.2 – Механический цех (9)

Позиция оборудования	Наименование узлов питания групп электроприёмников	Количество электроприемников <i>n</i> , шт	Мощность электроприемника $P_{ном}$, кВт
1	Сварочные автоматы	6	14,7
2	Вентиляторы	4	4,8
3	Компрессоры	2	30
4	Алмазно-расточные станки	8	2,5
5	Горизонтально-расточные станки	6	25
6	Продольно-строгальные станки	4	40
7	Расточные станки	8	14
8	Поперечно-строгальные станки	5	10
9	Радиально-сверлильные станки	16	3
10	Вертикально-сверлильные станки	10	4
11	Токарно-револьверные станки	16	4,5
12	Электродвигатели сопротивления	2	32
13	Заточные станки	4	1,5

1.2 Выбор рода тока и напряжения

Для электроснабжения рассматриваемого проектируемого цеха предусматривается питание электроприёмников переменного тока, частотой 50 Гц от системы напряжения 380/220 В.

Данное напряжение соответствует оборудованию, установленному в цехе. Фазное напряжение 220 В в сетях 380/220 В, используется для осветительных сетей, электродвигателей и нагревательного оборудования.

Выбранная система обеспечивает:

- возможность совместного питания освещения и двигателей;
- довольно низкое напряжение между землёй и проводом;
- если сравнивать с системой 220/127 В, то выбранная система имеет меньше потерь напряжения и мощности, от чего уменьшается площадь сечения питающих проводов.

Защита персонала осуществляется с помощью заземления.

Для электроснабжения распределительных сетей предприятия принимается напряжение 10 кВ.

1.3 Выбор схемы распределительной сети

Исходя из того, что электроприёмники в цехе небольшой мощности и равномерно распределены по площади цеха, то наиболее рациональным решением будет применить магистральную систему схемы питания потребителей по схеме «Трансформатор-магистраль». По этой схеме вся мощность трансформатора, передаётся по магистральному, а затем через распределительные шинопровода к электроприемника.

Магистральный ШМА-1 и распределительные ШРА-1 и ШРА-2 шинопровода, внутри цеха, прокладываются закрытым способом. Такая прокладка обеспечивает надёжную защиту от механических повреждений. Шинопровода крепятся к стойкам кронштейнами.

Цех питается от комплектной трансформаторной подстанции, расположенной внутри цеха.

Цеховые сети выполняются смешенными, с преобладанием магистральных сетей.

Трансформаторные подстанции, обеспечивающие электроэнергией потребителей первой и второй категории, выполняются двухтрансформаторными, в виде двух блоков с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линии, а потребители третьей категории снабжаются однострансформаторными подстанциями.

К трансформатором подходит питание от главной понизительной подстанции. ГПП запитана от сетей 35 кВ с помощью двух вводов.

2 РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА

2.1 Расчёт электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок выполняется для подбора количества и мощностей трансформаторов, токоведущих частей и другого оборудования.

Расчет ведется методом коэффициента максимума.[7]

Таблица 2.1 – Перечень оборудования механического цеха

Позиция оборудования	Наименование узлов питания групп электроприёмников	Количество электроприемников n , шт	Мощность электроприемника $P_{ном}$, кВт	Коэффициент использования, K_u	$\cos\varphi$
1	Сварочные автоматы	6	14,7	0,25	0,35
2	Вентиляторы	4	4,8	0,6	0,8
3	Компрессоры	2	30	0,7	0,8
4	Алмазно-расточные станки	8	2,5	0,17	0,65
5	Горизонтально-расточные станки	6	25	0,17	0,65
6	Продольно-строгальные станки	4	40	0,6	0,65
7	Расточные станки	8	14	0,17	0,65
8	Поперечно-строгальные станки	5	10	0,37	0,57
9	Радиально-сверлильные станки	16	3	0,14	0,5
10	Вертикально-сверлильные станки	10	4	0,14	0,5
11	Токарно-револьверные станки	16	4,5	0,14	0,5
12	Электроды сопротивления	2	32	0,75	0,95
13	Заточные станки	4	1,5	0,17	0,65

Расчет электрических нагрузок

- Номинальная мощность группы электроприемников $P_{ном i}$, кВт

$$P_{ном i} = P_{ном} \cdot n \quad (2.1)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность одного электроприемника, кВт;

n – число электроприемников.

- Среднесменная активная мощность $P_{см i}$, кВт

$$P_{см i} = P_{ном i} \cdot K_u \quad (2.2)$$

где K_u – коэффициент использования для данного электрооборудования [1].

- Среднесменная реактивная мощность $Q_{см i}$, кВАр

$$Q_{см i} = P_{см i} \cdot tg\varphi \quad (2.3)$$

где $tg\varphi$ – тангенс потерь соответствующий $cos\varphi$ данного оборудования,

$cos\varphi$ – коэффициент мощности данного оборудования [1].

Расчет электрических нагрузок показан на примере расчета распределительного шинпровода ШРА2.

Расточные станки, номинальная мощность 14 кВт, количество 8 штук, поперечно-строгальные станки, номинальная мощность 10 кВт, количество 5 штук, радиально-сверлильные станки, номинальная мощность 3 кВт, количество 8 штук, вертикально-сверлильные станки, номинальная мощность 4 кВт, количество 5 штук, токарно-револьверные станки, номинальная мощность 4,5 кВт, количество 5 штук.

◆ Расточные станки

- номинальная мощность группы электроприемников расточные станки

$$P_{ном1} = 14 \cdot 8 = 112 \text{ кВт}$$

- коэффициент использования для данного электрооборудования

$$K_u = 0,17$$

- среднесменная активная мощность

$$P_{см1} = 112 \cdot 0,17 = 19,04 \text{ кВт}$$

- коэффициент мощности и тангенс потерь данного оборудования

$$\cos\varphi = 0,65 \rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 1,17$$

- среднесменная реактивная мощность

$$Q_{см1} = 19,04 \cdot 1,17 = 22,26 \text{ кВАр}$$

◆ Поперечно-строгальные станки

- номинальная мощность группы электроприемников поперечно-строгальные станки

$$P_{ном2} = 10 \cdot 5 = 50 \text{ кВт}$$

- коэффициент использования для данного электрооборудования

$$K_u = 0,41$$

- среднесменная активная мощность

$$P_{см2} = 50 \cdot 0,41 = 20,39 \text{ кВт}$$

- коэффициент мощности и тангенс потерь данного оборудования

$$\cos\varphi = 0,63 \rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 1,22$$

- среднесменная реактивная мощность

$$Q_{см2} = 20,39 \cdot 1,22 = 24,95 \text{ кВАр}$$

◆ Радиально-сверлильные станки

- номинальная мощность группы электроприемников радиально-сверлильные станки

$$P_{ном3} = 3 \cdot 8 = 24 \text{ кВт}$$

- коэффициент использования для данного электрооборудования

$$K_u = 0,14$$

- среднесменная активная мощность

$$P_{см3} = 24 \cdot 0,14 = 3,36 \text{ кВт}$$

- коэффициент мощности и тангенс потерь данного оборудования

$$\cos\varphi = 0,5 \rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 1,73$$

- среднесменная реактивная мощность

$$Q_{см3} = 3,36 \cdot 1,73 = 5,82 \text{ кВАр}$$

◆ Вертикально-сверлильные станки

- номинальная мощность группы электроприемников вертикально-сверлильные станки

$$P_{ном4} = 4 \cdot 5 = 20 \text{ кВт}$$

- коэффициент использования для данного электрооборудования

$$K_u = 0,14$$

- среднесменная активная мощность

$$P_{см4} = 20 \cdot 0,14 = 2,8 \text{ кВт}$$

- коэффициент мощности и тангенс потерь данного оборудования

$$\cos\varphi = 0,5 \rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 1,73$$

- среднесменная реактивная мощность

$$Q_{см4} = 2,8 \cdot 1,73 = 4,85 \text{ кВАр}$$

◆ Токарно-револьверные станки

- номинальная мощность группы электроприемников токарно-револьверные станки

$$P_{ном5} = 4,5 \cdot 5 = 22,5 \text{ кВт}$$

- коэффициент использования для данного электрооборудования

$$K_u = 0,14$$

- среднесменная активная мощность

$$P_{см5} = 22,5 \cdot 0,14 = 3,15 \text{ кВт}$$

- коэффициент мощности и тангенс потерь данного оборудования

$$\cos\varphi = 0,5 \rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 1,73$$

- среднесменная реактивная мощность

$$Q_{см5} = 3,15 \cdot 1,73 = 5,46 \text{ кВАр}$$

Расчет магистральных и распределительных шинопроводов

- Номинальная установленная мощность для шинопровода $P_{номШМА i}$,

$$P_{номШРА i}, \text{ кВт}$$

$$P_{номШМА i} (\text{ШРА } i) = P_{ном1} + P_{ном2} + \dots + P_{ном n} \quad (2.4)$$

- Модуль сборки m

$$m = \frac{P_{\text{ном.макс}}}{P_{\text{ном.мин}}} \quad (2.5)$$

где $P_{\text{ном.макс}}$ – номинальная мощность наибольшего электроприемника, кВт;

$P_{\text{ном.мин}}$ – номинальная мощность наименьшего электроприемника, кВт.

- Среднесменная активная мощность $P_{\text{смШМА } i}, P_{\text{смШРА } i}$, кВт

$$P_{\text{смШМА } i} (\text{ШРА } i) = P_{\text{см1}} + P_{\text{см2}} + \dots + P_{\text{см } n} \quad (2.6)$$

- Среднесменная реактивная мощность $Q_{\text{смШМА } i}, Q_{\text{смШРА } i}$, кВАр

$$Q_{\text{смШМА } i} (\text{ШРА } i) = Q_{\text{см1}} + Q_{\text{см2}} + \dots + Q_{\text{см } n} \quad (2.7)$$

- Коэффициент использования $K_{\text{уШМА } i}, K_{\text{уШРА } i}$

$$K_{\text{уШМА } i} = \frac{P_{\text{смШМА } i}}{P_{\text{номШМА } i}}, K_{\text{уШРА } i} = \frac{P_{\text{смШРА } i}}{P_{\text{номШРА } i}} \quad (2.8)$$

- Средневзвешенный тангенс потерь $\text{tg } \varphi_{\text{ШМА } i}, \text{tg } \varphi_{\text{ШРА } i}$

$$\text{tg } \varphi_{\text{ШМА } i} = \frac{Q_{\text{смШМА } i}}{P_{\text{смШМА } i}}, \text{tg } \varphi_{\text{ШРА } i} = \frac{Q_{\text{смШРА } i}}{P_{\text{смШРА } i}} \quad (2.9)$$

- Максимальная активная мощность $P_{\text{максШМА } i}, P_{\text{максШРА } i}$, кВт

$$P_{\text{максШМА } i} = P_{\text{смШМА } i} \cdot K_{\text{макс}}, P_{\text{максШРА } i} = P_{\text{смШРА } i} \cdot K_{\text{макс}} \quad (2.10)$$

где $K_{\text{макс}}$ – коэффициент максимума [4.7 страница 71, таблица 3.7].

- Среднесменная реактивная мощность $Q_{\text{максШМА } i}, Q_{\text{максШРА } i}$, кВАр

$$Q_{\text{максШМА } i} (\text{ШРА } i) = Q_{\text{смШМА } i} (\text{ШРА } i) \quad (2.11)$$

- Максимальная полная мощность $S_{\text{максШМА } i}, S_{\text{максШРА } i}$, кВА

$$S_{\text{максШМА } i} = \sqrt{P_{\text{максШМА } i}^2 + Q_{\text{максШМА } i}^2}$$

$$S_{\text{максШРА } i} = \sqrt{P_{\text{максШРА } i}^2 + Q_{\text{максШРА } i}^2} \quad (2.12)$$

- Максимальный номинальный ток $I_{\text{максШМА } i}, I_{\text{максШРА } i}$, А

$$I_{\text{максШМА } i} (\text{ШРА } i) = \frac{S_{\text{максШМА } i} (\text{ШРА } i)}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (2.13)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети

◆ Расчет магистрального шинпровода ШМА-1

- номинальная установленная мощность для шинпровода

$$P_{номШМА1} = P_{ном1} + P_{ном2} + P_{ном3} + P_{ном4} + P_{ном5}$$

$$P_{номШМА1} = 97,8 + 69,6 + 10 + 150 + 160 = 487,4 \text{ кВт}$$

- модуль сборки $m = \frac{40}{2,5} = 16$

- среднесменная активная мощность

$$P_{смШМА1} = P_{см1} + P_{см2} + P_{см3} + P_{см4} + P_{см5}$$

$$P_{смШМА1} = 27,81 + 47,76 + 1,70 + 25,5 + 96 = 198,77 \text{ кВт}$$

- максимальная реактивная мощность

$$Q_{смШМА1} = Q_{см1} + Q_{см2} + Q_{см3} + Q_{см4} + Q_{см5}$$

$$Q_{смШМА1} = 63,34 + 35,82 + 1,99 + 29,81 + 112,24 = 243,19 \text{ кВАр}$$

- коэффициент использования $K_{шШМА1} = \frac{198,77}{487,4} = 0,41$

- средневзвешенный тангенс потерь $tg\varphi_{шШМА1} = \frac{243,19}{198,77} = 1,22$

- средневзвешенный коэффициент мощности $cos\varphi_{шШМА1} = 0,63$

-эффективное число электроприемников

Так как $n_э > 10$ $n_э = n$

- коэффициент максимума $K_{макс} = 1,28$

- максимальная активная мощность

$$P_{максШМА1} = 198,77 \cdot 1,28 = 254,43 \text{ кВт}$$

- максимальная реактивная мощность $Q_{максШМА1} = 243,19 \text{ кВАр}$

- максимальная полная мощность

$$S_{максШМА1} = \sqrt{254,43^2 + 243,19^2} = 351,96 \text{ кВА}$$

- максимальный номинальный ток $I_{максШМА1} = \frac{351,96 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 846 \text{ А}$

- к установке выбран магистральный шинпровод системы распределения энергии «Басбар» E-Line KXA10504-B-TR41 [14] с номинальным током I_n 1000 А.

◆ Расчет распределительного шинпровода ШРА-1

- номинальная установленная мощность для шинпровода

$$P_{номШРА1} = P_{ном1} + P_{ном2} + P_{ном3} + P_{ном4} + P_{ном5}$$

$$P_{номШРА1} = 112 + 50 + 24 + 20 + 22,5 = 228,5 \text{ кВт}$$

- модуль сборки $m = \frac{14}{3} = 5$

- среднесменная активная мощность

$$P_{смШРА1} = P_{см1} + P_{см2} + P_{см3} + P_{см4} + P_{см5}$$

$$P_{смШРА1} = 19,04 + 20,39 + 3,36 + 2,8 + 3,15 = 48,74 \text{ кВт}$$

- максимальная реактивная мощность

$$Q_{смШРА1} = Q_{см1} + Q_{см2} + Q_{см3} + Q_{см4} + Q_{см5}$$

$$Q_{смШРА1} = 22,26 + 24,95 + 5,82 + 4,85 + 5,46 = 63,33 \text{ кВар}$$

- коэффициент использования $K_{уШРА1} = \frac{48,74}{228,5} = 0,21$

- средневзвешенный тангенс потерь $tg\varphi_{ШРА1} = \frac{63,33}{48,74} = 1,30$

- средневзвешенный коэффициент мощности $cos\varphi_{ШРА1} = 0,61$

-эффективное число электроприемников

Так как $n_э > 10$ $n_э = n$

- коэффициент максимума $K_{макс} = 2,42$

- максимальная активная мощность

$$P_{максШРА1} = 48,74 \cdot 2,42 = 117,95 \text{ кВт}$$

- максимальная реактивная мощность $Q_{максШРА1} = 63,33 \text{ кВар}$

- максимальная полная мощность

$$S_{максШРА1} = \sqrt{117,95^2 + 63,33^2} = 133,88 \text{ кВА}$$

- максимальный номинальный ток $I_{максШРА1} = \frac{133,88 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 333,92 \text{ А}$

- к установке выбран распределительный шинопровод системы распределения энергии «Басбар» E-Line KOA0455-ПВ-DDT [15] с номинальным током I_n 400 А.

◆ Расчет распределительного шинопровода ШРА-2

- номинальная установленная мощность для шинопровода

$$P_{номШРА2} = P_{ном1} + P_{ном2} + P_{ном3} + P_{ном4} + P_{ном5} + P_{ном6}$$

$$P_{номШРА2} = 24 + 20 + 49,5 + 64 + 10 + 6 = 173,5 \text{ кВт}$$

- модуль сборки $m = \frac{32}{1,5} = 21$

- среднесменная активная мощность

$$P_{смШРА2} = P_{см1} + P_{см2} + P_{см3} + P_{см4} + P_{см5} + P_{см6}$$

$$P_{смШРА2} = 3,36 + 2,80 + 6,93 + 48 + 1,7 + 1,02 = 63,81 \text{ кВт}$$

- максимальная реактивная мощность

$$Q_{смШРА2} = Q_{см1} + Q_{см2} + Q_{см3} + Q_{см4} + Q_{см5} + Q_{см6}$$

$$Q_{смШРА2} = 5,82 + 4,85 + 12 + 15,78 + 1,99 + 1,19 = 41,63 \text{ кВАр}$$

- коэффициент использования $K_{уШРА2} = \frac{63,81}{173,5} = 0,37$

- средневзвешенный тангенс потерь $tg\varphi_{ШРА2} = \frac{41,63}{63,81} = 0,65$

- средневзвешенный коэффициент мощности $cos\varphi_{ШРА2} = 0,84$

-эффективное число электроприемников

Так как $n_э > 10$ $n_э = n$

- коэффициент максимума $K_{макс} = 1,24$

- максимальная активная мощность $P_{максШРА2} = 63,81 \cdot 1,24 = 79,12 \text{ кВт}$

- максимальная реактивная мощность $Q_{максШРА2} = 41,63 \text{ кВАр}$

- максимальная полная мощность

$$S_{максШРА2} = \sqrt{79,12^2 + 41,63^2} = 89,41 \text{ кВА}$$

- максимальный номинальный ток $I_{максШРА2} = \frac{89,41 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 162,38 \text{ А}$

- к установке выбран распределительный шинопровод системы распределения энергии «Басбар» E-Line МКА2257-STD [16] с номинальным током I_n 225 А.

◆ Расчет магистрального шинопровода ШМА-2

- номинальная установленная мощность для шинопровода

$$P_{номШМА2} = P_{номШРА1} + P_{номШРА2} \quad P_{номШМА2} = 228,5 + 173,5 = 402 \text{ кВт}$$

- модуль сборки $m = \frac{40}{1,5} = 27$

- среднесменная активная мощность

$$P_{смШМА2} = P_{смШРА1} + P_{смШРА2} \quad P_{смШМА2} = 48,74 + 63,81 = 112,55 \text{ кВт}$$

- максимальная реактивная мощность

$$Q_{смШМА2} = Q_{смШРА1} + Q_{смШРА2} \quad Q_{смШМА2} = 63,33 + 41,63 = 104,96 \text{ кВАр}$$

- коэффициент использования $K_{uШМА2} = \frac{112,55}{402} = 0,28$

- средневзвешенный тангенс потерь $tg\varphi_{ШМА2} = \frac{104,96}{112,55} = 0,93$

- средневзвешенный коэффициент мощности $cos\varphi_{ШМА2} = 0,72$

- эффективное число электроприемников

Так как $n = 65 \geq 5$, $K_u = 0,28 > 0,2$, $m = 27 \geq 3$ $n_э = n$

- коэффициент максимума $K_{макс} = 1,24$

- максимальная активная мощность $P_{максШМА2} = 112,55 \cdot 1,24 = 197,07 \text{ кВт}$

- максимальная реактивная мощность $Q_{максШМА2} = 104,96 \text{ кВАр}$

- максимальная полная мощность

$$S_{максШМА2} = \sqrt{197,07^2 + 104,96^2} = 223,28 \text{ кВА}$$

- максимальный номинальный ток $I_{максШМА2} = \frac{223,28 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 338,3 \text{ А}$

- к установке выбран магистральный шинопровод системы распределения энергии «Басбар» E-Line КОА-II-0450-B-TR41 [15] с номинальным током I_n 400 А.

Результаты расчетов нагрузки сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Расчет электрических нагрузок

№ позиции	Наименование электроприемников	Количество электроприемников, n шт.	Установленная мощность электроприемника		Модуль сборки m	Коэф-т исполз. $K_{и}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за смену		Эффект. число электр. прием-в $n_э$	Коэф-т макс. $K_{макс}$	Максимальная мощность			Макс. ток $I_{макс}$, А
			одного $P_{н.одн.}$	группы $P_{н.общ.}$					актив. мощн. $P_{см},$ кВт	реакт. мощн. $Q_{см},$ кВАр			актив. $P_{макс},$ кВт	реакт. $Q_{макс},$ кВАр	полн. $S_{макс},$ кВА	
1	Сварочные автоматы	6	14,7	88,2		0,25	0,35	2,68	22,05	59,02						
2	Вентиляторы	2	4,8	9,6		0,6	0,8	0,75	5,76	4,32						
	РП-1	8	4,8-14,7	97,8	$m > 3$	0,28	0,4	2,28	27,81	63,34	8	1,72	47,83	63,34	79,37	300,29
2	Вентиляторы	2	4,8	9,6		0,6	0,8	0,75	5,76	4,32						
3	Компрессоры	2	30	60		0,7	0,8	0,75	42,00	31,50						
	РП-2	4	4,8-30	69,6	$m > 3$	0,69	0,8	0,75	47,76	35,82	6	1,23	58,74	35,82	68,8	130,83
	РП-1	8	12,23	97,8		0,27	0,37	2,51	27,81	63,34						
	РП-2	4	17,4	69,6		0,69	0,8	0,75	47,76	35,82						
4	Алмазно-расточные станки	4	2,5	10		0,17	0,65	1,17	1,70	1,99						
5	Горизонтально-расточные станки	6	25	150		0,17	0,65	1,17	25,5	29,81						
6	Продольно-строгальные станки	4	40	160		0,6	0,65	1,17	96,0	112,24						
	ШМА-1	26	2,5-40	487,4	$m > 3$	0,41	0,63	1,22	198,77	243,19	26	1,28	254,43	243,19	351,96	846,0
7	Расточные станки	8	14	112		0,17	0,65	1,17	19,04	22,26						
8	Поперечно-строгальные станки	5	10	50		0,41	0,63	1,22	20,39	24,95						
9	Радиально-сверлильные станки	8	3	24		0,14	0,5	1,73	3,36	5,82						
10	Вертикально-сверлильные станки	5	4	20		0,14	0,5	1,73	2,8	4,85						
11	Токарно-револьверные станки	5	4,5	22,5		0,14	0,5	1,73	3,15	5,46						
	ШРА-1	31	3-14	228,5	$m > 3$	0,21	0,61	1,3	48,74	63,33	31	2,42	117,95	63,33	133,88	333,92
9	Радиально-сверлильные станки	8	3	24		0,14	0,5	1,73	3,36	5,82						
10	Вертикально-сверлильные станки	5	4	20		0,14	0,5	1,73	2,8	4,85						
11	Токарно-револьверные станки	11	4,5	49,5		0,14	0,5	1,73	6,93	12,0						
12	Электропечи сопротивления	2	32	64		0,75	0,95	0,33	48,0	15,78						
4	Алмазно-расточные станки	4	2,5	10		0,17	0,65	1,17	1,7	1,99						
13	Заточные станки	4	1,5	6		0,17	0,65	1,17	1,02	1,19						
	ШРА-2	34	1,5-32	173,5	$m > 3$	0,37	0,84	0,65	63,81	41,63	34	1,24	79,12	41,63	89,41	162,38
	ШМА-2	65	1,5-32	402	$m > 3$	0,28	0,72	0,93	112,55	104,96	65	1,24	197,07	104,96	223,28	338,3
	ШТМ	91	1,5-40	889,4	$m > 3$	0,35	0,67	1,12	311,32	348,15	91	1,24	451,5	348,15	570,15	1301,1
	Освещение												13,365	4,41		
	По цеху с освещением												464,87	352,56	583,44	884,0
	Компенсация									-250						
	По цеху после компенсации									98,15			464,87	98,15	475,1	719,88

2.2 Расчет осветительной сети

Основной задачей расчета осветительной сети является определение количества и мощности источников света, выбор типа светильников и ламп, их рациональное размещение для обеспечения требуемой нормируемой освещенности рабочего места.[8]

Наименование цеха – механический цех завода «Кабельпласт»

- размеры помещения $A = 60$ м, $B = 42$ м, $H = 8$ м;
- высота помещения 8 м;
- напряжение питающей сети $U = 380/220$ В;
- нормируемая освещенность $E_n = 300$ лк.

Определение количества и мощности ламп для общего освещения помещения [8]

- Расчетное значение высоты подвеса светильника над рабочей поверхностью H_p , м

$$H_p = H - h_c - h_p \quad (2.14)$$

где h_c – высота от потолка до нижней части светильника (0,2 – 0,8);

h_p – высота от пола до освещаемой поверхности (0,8 – 1,2).

- Расчетное значение расстояния между светильниками L , м

$$L = \lambda \cdot H_p \quad (2.15)$$

где λ – коэффициент, учитывающий оптимальное соотношение расстояния между светильниками и высоты их подвеса между рядами.

- Расстояние от стены до первого ряда светильников l , м

$$l = (0,25 \div 0,5) \cdot L \quad (2.16)$$

- Расчетное значение количества светильников по ширине N_B , рядов

$$N_B = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1 \quad (2.17)$$

- Расчетное значение количества светильников в ряду N_A , штук

$$N_A = \frac{A - 2 \cdot l}{L} + 1 \quad (2.18)$$

- Расчетное значение светового потока одного светильника Φ , лм

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot A \cdot B \cdot z}{N_A \cdot N_B \cdot \eta} \quad (2.19)$$

где z – коэффициент минимальной освещенности;

K_3 – коэффициент запаса;

η – коэффициент полезного действия.

- Расчетное значение освещенности E_p , лк

$$E_p = \frac{E_n \cdot \Phi_n}{\Phi} \quad (2.20)$$

где Φ_n – нормируемый световой поток, лм.

Расчетное значение освещенности должно быть не меньше нормируемого

$$E_p > E_n \quad (2.21)$$

Расчет

- Расчетное значение высоты подвеса светильника над рабочей поверхностью

$$H_p = 8 - 0,8 - 1,2 = 6 \text{ м}$$

- расчетное значение расстояния между светильниками

$$L = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ м} \rightarrow 4 \text{ м}$$

- расстояние от стены до первого ряда светильников

$$l = 0,25 \cdot 4 = 1 \text{ м}$$

- расчетное значение количества светильников по ширине

$$N_B = \frac{42 - 2 \cdot 1}{4} + 1 = 11 \text{ рядов}$$

- расчетное значение количества светильников в ряду

$$N_A = \frac{60 - 2 \cdot 1}{4} + 1 = 15,5 \text{ штук} \rightarrow 15 \text{ штук}$$

- расчетное значение светового потока одного светильника

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 42 \cdot 60 \cdot 1,5}{15 \cdot 11 \cdot 0,7} = 14727,3 \text{ лм}$$

- расчетное значение освещенности

$$E_p = \frac{300 \cdot 20000}{14727,3} = 407,4 \text{ лк}$$

Расчетное значение освещенности больше нормируемого

$$E_p = 407,4 \text{ лк} > E_n = 300 \text{ лк}$$

По расчетному значению светового потока $\Phi = 14727,3$ лм выбирается тип источника света: 165 металлогалогенных ламп ДРИ НРИ-Т Plus E40 [17] (прозрачные с нормируемым световым потоком $\Phi_u = 20000$ лм), стандартной мощностью 250 Вт. Тип светильника HBS 250M [18] (производство Philips).

Электрический расчет освещения [8]

Электрический расчет электрической сети производится с целью определения мощности осветительной нагрузки, выбора питающих проводов и кабелей, аппаратов управления и защиты осветительных установок, сечения питающих проводов и кабелей.

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

$$P_{осв} = N \cdot k_c \cdot P_n \cdot K_{ППА} \quad (2.22)$$

где k_c – коэффициент спроса 0,9;

N – общее количество ламп, шт;

P_n – мощность одной лампы 0,3 кВт;

$K_{ППА}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре (ППА).

- Реактивная мощность осветительной нагрузки $Q_{осв}$, кВАр

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg} \varphi \quad (2.23)$$

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

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2} \quad (2.24)$$

- Максимальный ток осветительной нагрузки $I_{макс}$, А

$$I_{макс} = \frac{S_{осв}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (2.25)$$

- Ток теплового расцепителя $I_{т.р}$, А

$$I_{т.р} = 1,15 \cdot I_{макс} \quad (2.26)$$

- Номинальный ток отходящей линии $I_{лин}$, А

$$I_{лин} = \frac{I_{макс}}{N_B} \quad (2.27)$$

- Ток теплового расцепителя отходящей линии $I_{т.р}$, А

$$I_{т.р} = 1,15 \cdot I_{лин} \quad (2.28)$$

Расчет

- Активная мощность осветительной нагрузки

$$P_{осв} = 165 \cdot 0,9 \cdot 0,3 \cdot 300 = 13,365 \text{ кВт}$$

- коэффициент мощности и тангенс потерь данного оборудования

$$\cos\varphi = 0,95 \rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 0,33$$

- реактивная мощность осветительной нагрузки

$$Q_{осв} = 13,365 \cdot 0,33 = 4,41 \text{ кВАр}$$

- полная мощность осветительной нагрузки

$$S_{осв} = \sqrt{13,365^2 + 4,41^2} = 14,073 \text{ кВА}$$

- максимальный ток осветительной нагрузки

$$I_{макс} = \frac{14,073 \cdot 10^3 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 380} = 29,97 \text{ А}$$

- ток теплового расцепителя

$$I_{т.р} = 1,15 \cdot 29,97 = 34,47 \text{ А}$$

- к установке принят силовой кабель марки ВВГ_{нг}LS [19] (5x2,5) с допустимым током 50 А.

- к установке принят автоматический выключатель марки ВА51Г-33

$$I_{ном} = 40 \text{ А}$$

$$I_{т.р} = 40 \text{ А}$$

- номинальный ток отходящей линии

$$I_{лин} = \frac{29,97}{11} = 2,72 \text{ А}$$

- ток теплового расцепителя отходящей линии

$$I_{m.p} = 1,15 \cdot 2,72 = 3,13 \text{ А}$$

Принят к установке автоматический выключатель типа ВА47-29 [20] с номинальным током автоматического выключателя $I_{ном} = 5 \text{ А}$.

Осветительная сеть выполнена осветительным шинопроводом «БОСТОБАР E-LINO КАМ» [21]. Щит осветительный ОЩВ-12 [22] на 12 линейных автоматов с $I_{ном} = 10 \text{ А}$ и 3-х полюсный вводной с $I_{ном} = 50 \text{ А}$.

2.3 Компенсация реактивной мощности

В проектируемом цехе используется централизованная компенсация, с подключением батареи конденсаторов к шинам 0,4 кВ трансформаторной подстанции.

- Мощность компенсирующего устройства Q_k , кВАр

$$Q_k = P_{см} \cdot \alpha (tg \varphi_1 - tg \varphi_2) \quad (2.29)$$

где $P_{см}$ – среднесменная активная мощность, кВт;

α – годовой коэффициент сменности по энергоиспользованию;

$tg \varphi_1$ – тангенс угла сдвига фаз, соответствующий значению $cos \varphi_1$;

$tg \varphi_2$ – нормальное значение при $cos \varphi_2$.

- Фактическое значение $tg \varphi_\varphi$ и $cos \varphi_\varphi$ после компенсации реактивной мощности

$$tg \varphi_\varphi = tg \varphi_1 - \frac{Q_{к.см}}{\alpha \cdot P_{см}} \quad (2.30)$$

где $Q_{к.см}$ – стандартное значение мощности выбранного компенсирующего устройства, кВАр.

Расчет

- Мощность компенсирующего устройства

$$Q_k = 464,87 \cdot 0,9 \cdot (1,12 - 0,363) = 316,72 \text{ кВАр}$$

- фактическое значение $tg \varphi_\varphi$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\varphi} = 1,12 - \frac{250}{0,9 \cdot 464,87} = 0,42 \rightarrow 0,97$$

Принимается компенсаторная установка мощностью 250 кВАр в климатическом исполнении УЗ, на номинальное напряжение 380 В типа КМ-0,38-250 УЗ.

2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов

Выбор мощности трансформатора с учетом компенсации осуществляется на основании расчетной нагрузки S_m , кВА, с учетом коэффициента максимума потребителей K_{\max} .

$$S_{m(НН)} = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2} \quad (2.31)$$

+ Потери мощности в трансформаторе:

- потери активной мощности ΔP_T , кВт

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{m(НН)} \quad (2.32)$$

- потери реактивной мощности ΔQ_T , кВАр

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{m(НН)} \quad (2.33)$$

- потери полной мощности ΔS_T , кВА

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} \quad (2.34)$$

+ Мощности трансформатора с учетом потерь:

- активная мощность трансформатора P_T , кВт

$$P_T = P_m + \Delta P_T \quad (2.35)$$

- реактивная мощность трансформатора Q_T , кВАр

$$Q_T = Q_m + \Delta Q_T \quad (2.36)$$

- полная мощность трансформатора S_T , кВА

$$S_{m(ВН)} = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} \quad (2.37)$$

- полная расчетная нагрузка трансформатора S_p , кВА

$$S_p = 0,7 \cdot S_{m(BH)} \quad (2.38)$$

- полная максимальная нагрузка трансформатора $S_{макс}$, кВА

$$S_{макс} = S_{m(BH)} \cdot K_{макс} \quad (2.39)$$

- При выборе мощности трансформаторов должно выполняться условие:

$$S_T > S_{макс} \quad (2.40)$$

- Выбранный трансформатор проверяется на период максимума с допустимой перегрузкой, равной 40%.

- Коэффициент заполнения графика нагрузки $K_{3.2}$

$$K_{3.2} = \frac{S_{m(BH)}}{S_{макс}} \quad (2.41)$$

- По величине $K_1 = K_{3.2}$ и времени максимума t , час, определяется коэффициент допустимой перегрузки по графику 7 [2] $K_2 = K_{д.н}$.

- Мощность, которую несет трансформатор в аварийном режиме $S_{a.н}$, кВА

$$S_{a.н} = S_{m(BH)} \cdot K_{д.н} \quad (2.42)$$

- Коэффициент нагрузки в нормальном режиме при максимуме $K_{3.2}$

$$K_{3.2} = \frac{S_{макс}}{S_T} \quad (2.43)$$

- Проверка возможности трансформатора обеспечивать в аварийном режиме электроснабжение в период максимума с допустимой перегрузкой в 40 %:

$$1,4 \cdot S_T > K_{д.н} \cdot S_{макс} \quad (2.44)$$

Расчет

- Расчетная полная нагрузка (низшее напряжение)

$$S_{m(HH)} = \sqrt{464,87^2 + 98,15^2} = 475,1 \text{ кВА}$$

+ Потери мощности в трансформаторе:

- потери активной мощности $\Delta P_T = 0,02 \cdot 475,1 = 14,4$ кВт
- потери реактивной мощности $\Delta Q_T = 0,1 \cdot 475,1 = 47,51$ кВАр
- потери полной мощности $\Delta S_T = \sqrt{14,4^2 + 47,51^2} = 49,6$ кВА

+ Мощности трансформатора с учетом потерь:

- активная мощность $P_T = 464,87 + 14,4 = 479,27$ кВт
- реактивная мощность $Q_T = 98,15 + 47,51 = 145,66$ кВАр
- полная мощность $S_{м(ВН)} = \sqrt{479,27^2 + 145,66^2} = 500,9$ кВА
- полная расчетная нагрузка трансформатора

$$S_p = 0,7 \cdot 500,9 = 350,63 \text{ кВА}$$

- полная максимальная нагрузка трансформатора

$$S_{\text{макс}} = 500,9 \cdot 1,17 = 586 \text{ кВА}$$

По степени требований в отношении надежности и бесперебойности электроснабжения токоприемники относятся к потребителям II-ой и III-ей категории. Имеются также небольшие потребители I-ой категории: сети пожарной безопасности и аварийное освещение. Поэтому принимается к установке двухтрансформаторная подстанция.

Для расчетов выбирается трансформатор ТСЗ-630/10,5/0,4 [23].

Подстанция комплектуется внутренней установкой типа КТП 2х630.

Полная мощность трансформатора больше максимальной нагрузки

$$S_T = 630 \text{ кВА} > S_{\text{макс}} = 586 \text{ кВА}$$

- коэффициент заполнения графика нагрузки $K_{3,2}$

$$K_{3,2} = \frac{500,9}{586} = 0,85$$

По величине $K_1 = K_{3,2}$ и времени максимума $t = 2$ часа определяется коэффициент допустимой перегрузки по графику 7 [2], соответствующему трансформатору с воздушным охлаждением, постоянной времени $\tau = 2,5$ часа, работающего при температуре охлаждающей среды 20°C . Коэффициент

допустимой перегрузки - $K_2 = K_{\partial.n} = 1,1$. Следовательно, указанный режим работы трансформатора с перегрузкой до 40% допустим.

- Мощность, которую несет трансформатор в аварийном режиме

$$S_{a.n} = 500,9 \cdot 1,1 = 550,99 \text{ кВА}$$

- Коэффициент нагрузки в нормальном режиме при максимуме

$$K_{3.2} = \frac{586}{630} = 0,9$$

- Проверка возможности трансформатора обеспечивать в аварийном режиме электроснабжение в период максимума с допустимой перегрузкой в 40 %: $1,4 \cdot 630 = 882 \text{ кВА} > 1,1 \cdot 586 = 644,6 \text{ кВА}$

Следовательно, выбранный трансформатор мощностью 630 кВА обеспечивает электроснабжение потребителей, как в нормальном, так и в аварийном режиме.

2.5 Выбор аппаратов защиты и управления

Аппаратом защиты называется аппарат, автоматический отключающий защищаемую электрическую цепь при ненормальных режимах. Аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока КЗ в начале защищаемого участка электрической цепи. В качестве аппаратов применяются автоматические выключатели или предохранители.[3]

Расчет и выбор автоматического выключателя показан на примере выбора автоматического выключателя для заточного станка с номинальной мощностью 1,5 кВт.

- Номинальный ток автомата для станка $I_{ном}$, А

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (2.45)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность электроприемника, кВт;

$U_{ном}$ – номинальное линейное напряжение, В;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности;

η – коэффициент полезного действия.

$$I_{ном} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 4,41 \text{ А}$$

- Пусковой ток $I_{пуск}$, А

$$I_{пуск} = I_{ном} \cdot (4 \div 7) \quad (2.46)$$

где $(4 \div 7)$ – кратность пускового тока в зависимости от характера нагрузки.

$$I_{пуск} = 4,41 \cdot 4 = 17,6 \text{ А}$$

- Ток теплового расцепителя $I_{тен.р}$, А

$$I_{тен.р} = 1,15 \cdot I_{ном} \quad (2.47)$$

$$I_{тен.р} = 1,15 \cdot 4,41 = 5,07 \text{ А}$$

- Ток электромагнитного расцепителя $I_{эм.р}$, А

$$I_{эм.р} = I_{пуск} \cdot 1,25 \quad (2.48)$$

$$I_{эм.р} = 17,6 \cdot 1,25 = 22,06 \text{ А}$$

Принят к установке автоматический выключатель типа ВА51-25 с номинальным током аппарата $I_{ном} = 25 \text{ А}$, с током срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{эм.р} = 63 \text{ А}$, с током срабатывания теплового расцепителя $I_{тен.р} = 6,3 \text{ А}$.

Расчет и выбор автоматических выключателей для остальных электроприемников выполнен аналогично, результаты сведены в таблицу 2.3.

Внутрицеховая сеть 0,4 кВ выполняется магистральными и распределительными шинпроводами типа ШМА-73 и ШРА-73. Их выбор производится по расчетному току, используя условие для проверки по нагреву:

$$I_{дон} \geq I_{расч} \quad (2.49)$$

Таблица 2.3 – Расчет номинальной мощности и тока

№ позиции	Наименование электроприемников	Кол-во электр. прием-в в группах, <i>n</i> шт.	Номинал. мощность электро-приемника <i>P_{н.}</i> , кВт	Номинал. ток электр. приемника <i>I_{ном}</i> , А	Пуск. ток электро-приемника <i>I_{пуск}</i> , А	Номинальный ток теплового расцепителя <i>I_{теп.р.}</i> , А		Номинальный ток электромагнитного расцепителя <i>I_{эм.р.}</i> , А		Номинал. ток аппарата <i>I_{ном}</i> , А	Тип аппарата	Сечение провода <i>S_{макс.}</i> , мм ²	Номинал. допуст. ток <i>I_{доп.}</i> , А
						Расчет. значение	Стандарт. значение	Расчет. значение	Стандарт. значение				
1	Сварочные автоматы	6	14,7	81,7	326,7	93,96	100	408,37	1000	100	ВА51-31	ВВГ _{нг} 4x50	120
2	Вентиляторы	4	4,8	11,43	45,71	13,14	16	57,14	160	25	ВА51-25	ВВГ _{нг} 4x2,5	19
3	Компрессоры	2	30	71,43	285,71	82,14	100	357,14	1000	100	ВА51-31	ВВГ _{нг} 4x35	85
4	Алмазно-расточные станки	4	2,5	7,35	29,41	8,45	10	36,76	100	25	ВА51-25	ВВГ _{нг} 4x2,5	19
5	Горизонтально-расточные станки	6	25	73,5	294,12	338,24	400	367,65	4000	400	ВА51-37	ВВГ _{нг} 4x185	345
6	Продольно-строгальные станки	4	40	117,65	470,59	135,29	160	588,24	1600	160	ВА51-33	ВВГ _{нг} 4x70	140
ШМА-1 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (КХА10504-D-TR41), IP55, <i>I_{ном}</i> = 1000 А, ВА53-41, <i>I_{ном}</i> = 1000 А													
7	Расточные станки	8	14	41,18	164,7	47,36	50	205,88	500	100	ВА51-31	ВВГ _{нг} 4x16	55
8	Поперечно-строгальные станки	5	10	30,3	121,2	34,85	40	151,52	400	100	ВА51-31	ВВГ _{нг} 4x10	39
9	Радиально-сверлильные станки	8	3	11,54	46,15	13,27	16	57,69	160	25	ВА51-25	ВВГ _{нг} 4x2,5	19
10	Вертикально-сверлильные станки	5	4	15,38	61,54	17,69	20	76,92	200	25	ВА51-25	ВВГ _{нг} 4x2,5	19
11	Токарно-револьверные станки	5	4,5	17,3	69,23	19,9	25	86,54	250	25	ВА51-25	ВВГ _{нг} 4x4	23
ШПА-1 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (КОА0455-ПВ-DDT), IP55, <i>I_{ном}</i> = 400 А, ВА52-37, <i>I_{ном}</i> = 400 А													
9	Радиально-сверлильные станки	8	3	11,54	46,15	13,27	16	57,69	160	25	ВА51-25	ВВГ _{нг} 4x2,5	19
10	Вертикально-сверлильные станки	5	4	15,38	61,54	17,69	20	76,92	200	25	ВА51-25	ВВГ _{нг} 4x2,5	19
11	Токарно-револьверные станки	11	4,5	17,3	69,23	19,9	25	86,54	250	25	ВА51-25	ВВГ _{нг} 4x4	23
12	Электроды сопротивления	2	32	64	256	73,6	80	320	800	100	ВА51-100	ВВГ _{нг} 4x35	85
4	Алмазно-расточные станки	4	2,5	7,35	29,41	8,45	10	36,76	100	25	ВА51-25	ВВГ _{нг} 4x10	39
13	Зачочные станки	4	1,5	4,41	17,65	5,07	6,3	22,06	63	25	ВА51-25	ВВГ _{нг} 4x2,5	19
ШПА-2 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (МКА2257-STD), IP55, <i>I_{ном}</i> = 225 А, ВА51-32, <i>I_{ном}</i> = 250 А													
ШМА-2 Сборная шинопроводная канальная система E-Line KB, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (КОА-II-0450-B-TR41), IP55, <i>I_{ном}</i> = 400 А, ВА51-37, <i>I_{ном}</i> = 400 А													
ШТМ Многопроводниковая шинная система "Троллей Басбар" E-Line ТВ, IP55, <i>I_{ном}</i> = 1350 А, ВА54-43, <i>I_{ном}</i> = 1600 А													

Таблица 2.4 – Выбор магистрального и распределительного шинопроводов

№ п/п	Номер шинопровода	Расчетный ток $I_{расч}$, А	Длительно допустимый ток $I_{доп}$, А	Марка кабеля
1	ШМА 1	846	1030	ВВГ _{нг} LS 4x800 мм ²
2	ШРА 1	333,92	397	ВВГ _{нг} LS 4x185 мм ²
3	ШРА 2	162,38	211	ВВГ _{нг} LS 4x70 мм ²
4	ШМА 2	1301,1	1481	ВВГ _{нг} LS 4x800 мм ²
5	ШТМ	719,88	1030	ВВГ _{нг} LS 4x800 мм ²

Для соединения магистрального и распределительного шинопроводов используется кабель, рассчитанный на длительно допустимый ток. Такой ток обеспечивают два соединенных параллельно кабеля ВВГ_{нг}LS.

Автоматические выключатели предназначены для автоматического отключения электрических цепей при КЗ и ненормальных режимах, а также для нечастого включения и отключения токов нагрузки. Отключение выключателя при перегрузках выполняется встроенным в выключатель автоматическим устройством, которое называется максимальный расцепитель тока.

Автоматические выключатели, устанавливаемые на КТП, выбирают по номинальному напряжению и току (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Выбор автоматических выключателей

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные
Выключатель ввода от трансформатора АВМ20СВ		
$U_{с, ном} \leq U_{ном}$	$U_{с, ном} = 380$ В	$U_{ном} = 660$ В
$I_{расч} \leq I_{ном}$	$I_{расч} = 1301,1$ А	$I_{ном} = 1500$ А
Секционный выключатель АВМ20СВ		
$U_{с, ном} \leq U_{ном}$	$U_{с, ном} = 380$ В	$U_{ном} = 660$ В
$I_{расч} \leq I_{ном}$	$I_{расч} = 1301,1$ А	$I_{ном} = 1500$ А
Выключатель отходящей линии ШМА-1 АВМ10Н		
$U_{с, ном} \leq U_{ном}$	$U_{с, ном} = 380$ В	$U_{ном} = 660$ В
$I_{расч} \leq I_{ном}$	$I_{расч} = 846$ А	$I_{ном} = 1000$ А
Выключатель отходящей линии ШРА-1 ВА 88-40		
$U_{с, ном} \leq U_{ном}$	$U_{с, ном} = 380$ В	$U_{ном} = 660$ В
$I_{расч} \leq I_{ном}$	$I_{расч} = 333,92$ А	$I_{ном} = 400$ А
Выключатель отходящей линии ШРА-2 ВА 51-35		
$U_{с, ном} \leq U_{ном}$	$U_{с, ном} = 380$ В	$U_{ном} = 660$ В
$I_{расч} \leq I_{ном}$	$I_{расч} = 162,38$ А	$I_{ном} = 250$ А

2.6 Расчет заземления

Величина сопротивления заземляющих устройств принимается в соответствии с ПУЭ [3].

- Сопротивление стержня R_{cm} , Ом, определяется по формуле:

$$R_{cm} = R_0 \cdot \rho \cdot K \quad (2.50)$$

где R_0 – сопротивление стержня $l = 5$ м, $d = 12$ мм, $R_0 = 0,00227$ Ом;

ρ – удельное сопротивление грунта, $\rho = 10^4$ Ом/см;

K – коэффициент сезонности.

$$R_{cm} = 0,00227 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 1,7 = 38,6 \text{ Ом}$$

- Приблизительное количество заземлителей n , шт

$$n = \frac{R_{cm}}{\eta \cdot R_3} \quad (2.51)$$

где η – коэффициент экранирования, [4] $\eta = 0,74$.

R_3 – допустимое сопротивление заземляющего устройства, $R_3 = 4$ Ом.

$$n = \frac{38,6}{0,74 \cdot 4} = 13 \text{ шт}$$

Используя существующий вблизи участка естественный заземлитель (железобетонная конструкция) с сопротивлением $R_{ест} = 15$ Ом, сопротивление искусственного заземления будет равно:

$$R_{иск} = \frac{R_3 \cdot R_{ест}}{R_{ест} - R_3} \quad (2.52)$$

$$R_{иск} = \frac{4 \cdot 15}{15 - 4} = 5,40 \text{ Ом}$$

- Количество стержней n , шт

$$n = \frac{R_{cm}}{\eta \cdot R_{иск}} \quad (2.53)$$

$$n = \frac{38,6}{0,74 \cdot 5,40} = 10 \text{ шт}$$

Для заземления взять 10 прутковых электродов, вбить в землю на расстоянии 5 м друг от друга на глубине 0,7 м, свариваются металлической полосой.

3 РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПО ПРЕДПРИЯТИЮ

3.1 Расчет электрических нагрузок по предприятию

Определение ожидаемых нагрузок на элементах рассчитываемой сети – одно из основных частей проекта электроснабжения промышленного предприятия в любой отрасли народного хозяйства, поскольку нагрузки определяют параметры и характеристики элементов сети (сечение проводов, мощность трансформаторов и т. д.). Электрические нагрузки необходимо знать при расчете потерь энергии, отклонений и колебаний напряжения, при выборе защитных, компенсирующих устройств.[9]

1.) Исходя из технологических особенностей и вида электрооборудования цехов, определяем по справочникам коэффициенты использования K_u и мощности $\cos\varphi$ электроприемников цеха.

2.) Для каждого цеха вычисляются средние активные P_c и реактивные Q_c нагрузки:

$$P_c = K_u \cdot P_n, \quad (3.1)$$

$$Q_c = K_u \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (3.2)$$

3.) Используя значения n_s и K_w , по таблицам находится коэффициент максимума K_m и определяются расчетные активные P_p и реактивные Q_p нагрузки:

$$P_p = K_m \cdot P_c, \quad (3.3)$$

$$Q_p = 1,1Q_c \quad \text{при } n_s \leq 10, \quad (3.4)$$

$$Q_p = Q_c \quad \text{при } n_s > 10. \quad (3.5)$$

4.) Расчетная осветительная нагрузка $P_{осв}$ вычисляется по выражению:

$$P_{осв} = K_c \cdot P_{yo} \cdot F_n, \quad (3.6)$$

где K_c - коэффициент спроса по активной мощности осветительной нагрузки;

P_{yo} - удельная осветительная нагрузка на 1 м² производственной поверхности пола цеха;

F_n - площадь поверхности пола цеха.

5.) Суммарная нагрузка цеха S_p :

$$S_p = \sqrt{(P_{осв} + P_p)^2 + Q_p^2} \quad (3.7)$$

6.) Рассчитывается строка «Итого по предприятию».

7.) Результаты расчетов сводятся в таблицы 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 - Расчетная осветительная нагрузка

№ п.п.	Наименование цехов и узлов СЭС ПП	K_c	P_{yo} , Вт/м ²	F_n , м ²	$P_{осв}$, кВт
1	Гараж	0,3	9,2	1775	4,90
2	Склад готовой продукции №1	0,3	10	533	1,60
3	Сборочный цех	0,2	10	888	1,78
4	Компрессорная	0,2	9,2	7692	14,2
5	Насосная станция	0,2	9,2	13980	25,7
6	Производственный корпус №1	0,9	10	2396	21,6
7	Административно- бытовой корпус	0,8	9,2	1361	10,0
8	Котельная	0,2	9,2	1302	2,40
9	Механический цех	0,9	10	2145	19,3
10	Корпус №1	0,75	10	5562	41,7
11	Производственный корпус №2	0,9	10	444	4,00
12	Склад материальный №1	0,2	9,2	1124	2,07
13	Депо	0,8	9,2	13980	102,9
14	Корпус №2	0,75	10	441	3,31
15	Склад материальный №2	0,2	10	1109	2,22
16	Склад готовой продукции №2	0,3	10	2396	7,19
17	Склад металла	0,4	10	8698	34,8
18	Ремонтно-механический цех	0,8	10	1109	8,87
	Гараж	0,1	4,6	197086	90,7

Таблица 3.2 – Суммарная нагрузка

№ п.п.	Наименование цехов и узлов СЭС ПП	P_H , кВт	n_3	K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	P_C , кВт	Q_C , кВар	K_M	P_P , кВт	$P_{осв}$, кВт	$P_P + P_{осв}$, кВт	Q_P , кВар	S_P , кВт·А
Нагрузка 0,4 кВ														
1	Гараж	150	15	0,2	0,55	1,52	30	45,6	1,61	48,3	4,90	53,2	45,6	70,0
2	Склад готовой продукции №1	193	6	0,1	0,6	1,33	19,3	25,7	3,04	58,7	1,60	60,3	28,3	66,6
3	Сборочный цех	85	7	0,5	0,7	1,02	42,5	43,4	1,45	61,6	1,78	63,4	47,7	79,3
4	Компрессорная	140	8	0,8	0,75	0,88	112	98,8	1,08	121	14,2	135	109	173
5	Насосная станция	506	6	0,7	0,7	1,02	354	361	1,23	436	25,7	461	397	609
6	Производственный корпус №1	3155	87	0,35	0,68	1,08	1104	1191	1,09	1204	21,6	1225	1191	1708
7	Административно-бытовой корпус	534	21	0,4	0,7	1,02	214	218	1,24	265	10,0	275	218	351
8	Котельная	1218	24	0,8	0,75	0,88	974	859	1,06	1033	2,40	1035	859	1345
9	Механический цех	889,4	91	0,35	0,67	1,12	311	348	1,24	451	13,3	465	533	583
10	Корпус №1	404	23	0,5	0,6	1,33	202	269	1,17	236	41,7	278	269	387
11	Производственный корпус №2	3538	70	0,4	0,7	1,02	1415	1444	1,12	1585	4,00	1589	1444	2147
12	Склад материальный №1	84	5	0,1	0,6	1,33	8,4	11,2	3,23	27,1	2,07	29,2	12,3	31,7
13	Депо	105	12	0,4	0,7	1,02	42	42,8	1,36	57,1	103	160	42,8	166
14	Корпус №2	530	39	0,55	0,6	1,33	292	389	1,13	329	3,31	333	389	512
15	Склад материальный №2	501	16	0,2	0,6	1,33	100	134	1,61	161	2,22	164	134	211
16	Склад готовой продукции №2	193	6	0,1	0,55	1,52	19,3	29	3,04	58,7	7,19	65,9	32,2	73,3
17	Склад металла	177	10	0,15	0,6	1,33	26,6	35,4	2,1	55,8	34,8	90,5	38,9	98,6
18	Ремонтно-механический цех	312	19	0,35	0,55	1,52	109	166	1,29	141	8,87	150	166	223
	Освещение территории	---	---	---	---	---	---	---	---	---	90,7	90,7	---	90,7
Итого по предприятию:		12714								6329	393	6723	5956	8926

3.2 Выбор типа, числа и мощности цеховых трансформаторов подстанции

Выбор трансформаторов цеховых ТП – важный этап проектирования электроснабжения промышленного предприятия.

Мощность цеховой трансформаторной подстанции зависит от размера нагрузки электроприемников и их категории надежности электроснабжения.

Плотность электрической нагрузки цеха:

$$\sigma = \frac{S_P}{F_{Ц}}, \quad (3.8)$$

где S_P - расчетная электрическая нагрузка цеха,

$F_{Ц}$ - площадь цеха.

Исходя из этого значения будет выбираться мощность трансформатора по таблице 3.3.[10]

Таблицы 3.3- Плотность электрической нагрузки

Плотность электрической нагрузки цеха σ , кВА/м ²	< 0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	> 0,3
Экономически целесообразная мощность одного трансформатора цеховой подстанции $S_{ЭТ}$, кВА	400	630	1000	1600	1600 или 2500

Величина σ рассчитывается в предположении, что электрические нагрузки распределены равномерно по площади цеха.

Количество трансформаторов всех подстанций цеха определяется по выражению:

$$N_0 = \frac{P_P}{K_3 \cdot S_{НОМ.Т}} \quad (3.9)$$

где P_P - расчетная активная нагрузка цеха от низковольтных потребителей;

K_3 - допустимый коэффициент загрузки трансформаторов в

нормальном режиме работы;

$S_{НОМ.Т}$ - выбранная номинальная мощность цеховых ТП.

К установке принимается ближайшее большее целое число N .

Количество трансформаторов одной подстанции зависит от категории электроприемников по надежности электроснабжения [9].

Местоположение подстанций выбирается по возможности ближе к центрам электрических нагрузок, учитывая расположение технологического оборудования и предусматривая установку подстанций так, чтобы они не препятствовали нормальному ходу технологического процесса.

Выбираются внутрицеховые комплектные трансформаторные подстанции как наиболее экономичные.

Объединенные склад материальный №1, склад материальный №2, склад готовой продукции №2 и ремонтно-механический цех

Распределение мощности:

$$\sigma = \frac{31,7 + 211 + 73,3 + 223}{1124 + 1109 + 2396 + 1109} = \frac{539}{5738} = 0,094 \text{ кВА/м}^2$$

Так как σ в пределах 0,05-0,1, к установке принимается трансформатор мощностью 630 кВА.

По таблице [9] находится $\Delta P_{TP} = 4,5$ кВт; $\Delta Q_{TP} = 24,5$ кВар;

$$P_P = P_{p\Sigma} + n_m \cdot \Delta P_{mp} = (29,2 + 164 + 65,9 + 150) + 1 \cdot 4,5 = 413 \text{ кВт}$$

$$Q_P = Q_{p\Sigma} + n_m \cdot \Delta Q_{mp} = (12,3 + 134 + 32,2 + 166) + 1 \cdot 24,5 = 368 \text{ кВар}$$

1. Значение входных реактивных мощностей:

$$\text{а) } Q'_{\text{эл}} = Q_P - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}} = 368 - 0,7 \cdot 0 = 368 \text{ кВар}$$

$$Q''_{\text{эл}} = \alpha \cdot P_P = 0,28 \cdot 413 = 116 \text{ кВар}$$

Принимается меньшее из значений: $Q_{\text{эл}} = 116$ кВар.

$$\text{б) } Q_{\text{min}} = 0,64 \cdot 368 = 236 \text{ кВар.}$$

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_P - Q_{\text{эл}}) = 236 - (368 - 116) = -16 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}} = 236 + 0 = 236 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{к}} = 0$$

Исходя из повышенного напряжения в часы минимума нагрузок принимается

$$Q_{\varepsilon 2} = Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 236 \text{ кВар.}$$

2. Суммарная мощность КУ;

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1} = 1,15 \cdot 368 - 116 = 308 \text{ кВар.}$$

Мощность нерегулируемых КУ;

$$Q_{\text{куmin}} = Q_{\text{min}} - Q_{\varepsilon 2} = 236 - 236 = 0 \text{ -т.е. все КУ должны быть регулируемые.}$$

3. Выбирается число и мощность трансформаторов

$$\sigma = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{S_{\text{ц}}} = \frac{\sqrt{413^2 + 368^2}}{5738} = 0,0964 \text{ кВА/м}^2 \Rightarrow S_{\text{HT}} = 630 \text{ кВА,}$$

$$N_T = \frac{P_{\rho\Sigma}}{K_3 S_{\text{HT}}} = \frac{408}{0,9 \cdot 630} = 0,72$$

$K_3 = 0,9$ (для однострансформаторных ТП при питании потребителей III категории).

Принимается ближайшее большее значение $N_T = 1$.

4. Определяется РМ, которая должна быть передана из сети 10кВ в сеть 0,4кВ и не должна компенсироваться

$$Q_{\varepsilon \text{н}} = Q_{\varepsilon 1} - Q_{\varepsilon} = 116 - (368 - 344) = 91,1 \text{ кВар.}$$

Q_{ε} - реактивная мощность потребителей 6...10кВ.

5. Находится РМ, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть U до 1000 В;

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{\rho\Sigma}^2} = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 630)^2 - 408^2} = 393 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{КУН}} = Q_{\rho\Sigma} - Q_T = 344 - 393 = -49 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{КУВ}} = Q_{\text{КУmax}} - Q_{\text{КУН}} = 308 < 800 \text{ кВар.}$$

Установка БК на стороне 10 кВ нецелесообразна.

Принимается однострансформаторная КТП с трансформатором типа ТМ 630/10-04 [24]. Компенсация РМ не осуществляется.

Для остальных цехов расчеты выполняются аналогично, результаты сведены в таблицы 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 - Выбор типа, числа и мощности трансформаторов подстанции

№ ТП	№ цеха	Наименование цехов и узлов СЭС ПП	Уд. плотность нагрузки σ , кВА/м ²	Расчетная активная нагрузка P_p , кВт	Кат. надежности	Принято				
						Мощность тр-ров на ТП	Число тр-ров на ТП	Кол-во ТП	Тип тр-ров	Потери акт. мощн. в тр-рах ТП $\Delta P_{ТП}$, кВт
1	1+2	Гараж Склад готовой продукции №1	0,059	113	3 3	250	1	1	ТМ 250/10-04	1,8
2	3+6	Сборочный цех Производственный корпус №1	0,544	1289	1 2	1000	2	1	ТМ 1000/10-04	15
3	4+5	Компрессорная Насосная станция	0,036	597	1 1	630	2	1	ТМ 630/10-04	9
4	7	Административно-бытовой корпус	0,258	275	3	630	1	1	ТМ 630/10-04	4,5
5	8	Котельная	1,033	1035	1	1000	2	1	ТМ 1000/10-04	15
6	9	Механический цех	0,272	465	2	630	2	1	ТМ 630/10-04	9
7	10	Корпус №1	0,07	278	2	250	2	1	ТМ 250/10-04	3,6
8	11	Производственный корпус №2	4,836	1589	2	1600	2	1	ТМ 1600/10-04	20
9	12 +15 +16 +18	Склад материальный №1 Склад материальный №2 Склад готовой продукции №2 Ремонтно-механический цех	0,094	408	3 3 3 3	630	1	1	ТМ 630/10-04	4,5

Продолжение таблицы 3.4

№ ТП	№ цеха	Наименование цехов и узлов СЭС ПП	Уд. плотность нагрузки σ , кВА/м ²	Расчетная активная нагрузка P_p , кВт	Кат. надежности	Принято				
						Мощность тр-ров на ТП	Число тр-ров на ТП	Кол-во ТП	Тип тр-ров	Потери акт. мощн. в тр-ре ΔP_{TP} , кВт
10	13 +14 +17	Депо Корпус №2 Склад металла	0,034	583	2 2 3	630	2	1	ТМ 630/10-04	9

Таблица 3.5 – Расчет и подбор компенсирующих устройств

ТП	P_p	Q_p	$Q_{\varepsilon 1}$	Q_{min}	$Q_{\varepsilon 2}$	$Q_{куmax}$	$Q_{куmin}$	$Q_{\varepsilon n}$	N_T	K_3	S_H	P_p	Q_T	Q_{KVH}	Q_{KVB}	Тип КУ
1	115	80,1	32,1	51,3	51,3	60	0	25,9	1	0,9	160	113	88,7	-14,8	60	-
2	1296	1277	363	817	817	1106	0	324	2	0,7	1000	1289	547	691,1	415	-
3	601	531	168	340	340	442	0	144	2	0,7	630	597	650	-143,6	442	-
4	278	233	77,8	149	149	191	0	62,2	1	0,9	400	275	232	-14,6	191	-
5	1043	898	292	575	575	741	0	253	2	0,7	1000	1035	942	-83,1	741	-
6	470	558	131	357	357	510	0	107	2	0,7	630	465	749	-216,5	726	-
7	280	279	78,4	179	179	243	0	68,6	2	0,7	250	278	213	56,8	186	-
8	1599	1506	448	964	964	1284	0	385	2	0,7	1600	1589	1579	-135,0	1284	УКМ-100
9	413	368	116	236	236	308	0	91,1	1	0,9	630	408	393	-49,4	308	-
10	588	495	165	317	317	405	0	140	2	0,7	630	583	662	-191,2	405	-

4 РАСЧЕТ ГЛАВНОЙ ПониЗИТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ

4.1 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП

Величина напряжения питания главной понижительной подстанции предприятия определяется наличием конкретных источников питания, уровнями напряжения на них, расстоянием от ГПП до этих источников, возможностью сооружения воздушных и кабельных линий для передачи электроэнергии и другими факторами [10].

Расчет ведется согласно методике изложенной в учебном пособии [10].

1. Величина рационального напряжения по формуле Стилла:

$$U_{РАЦi} = 4,34 \cdot \sqrt{L_i + 0,016 \cdot P_{PI}} \quad (4.1)$$

где L_i – длина питающей ГПП линии;

P_{PI} – расчетная нагрузка предприятия на стороне низшего напряжения ГПП.

2. Расчетная (максимальная) нагрузка предприятия:

$$P_{PI} = P_{PH} + P_{PB} + P_{OCB} + \Delta P_{T\Sigma} \quad (4.2)$$

где P_{PH} – расчетная активная низковольтная нагрузка всех цехов и других потребителей предприятия;

P_{PB} – расчетная активная высоковольтная нагрузка предприятия;

P_{OCB} – расчетная активная нагрузка освещения предприятия, включая внутрицеховое и наружное освещение;

$\Delta P_{T\Sigma}$ – суммарные потери активной мощности в трансформаторах цеховых ТП.

3. Полная расчетная нагрузка предприятия, необходимая для выбора силовых трансформаторов ГПП:

$$S_{PIi} = \sqrt{P_{PI}^2 + Q_{ЭCi}^2} \quad (4.3)$$

где $Q_{ЭCi}$ – экономически целесообразная реактивная мощность на стороне высшего напряжения ГПП, потребляемая предприятием из энергосистемы.

$$Q_{ЭCi} = P_{PI} \cdot tg \varphi_i \quad (4.4)$$

где $tg \varphi_i$ – коэффициент реактивной мощности.

4. Номинальная мощность трансформатора $S_{НОМ.Т}$ приближенно определяется по формуле:

$$S_{ном.т} \approx K_{1-2} \cdot S_{PIi} \cdot \frac{1}{K_{пер}} \quad (4.5)$$

где K_{1-2} – коэффициент участия в нагрузке предприятия потребителей 1-й и 2-й категории (для ГПП принимают равным 0,75...0,85);

$K_{ПЕР}$ – коэффициент приближенной допустимой аварийной перегрузки трансформатора, $K_{ПЕР} = 1,4$.

Расчет:

1) Расчетная (максимальная) нагрузка предприятия:

$$P_{PI} = 6723 + (1,8 + 15 + 9 + 4,5 + 15 + 9 + 3,6 + 20 + 4,5 + 9) = 6814 \text{ кВт}$$

2) Величина рационального напряжения по формуле Стилла:

$$U_{РАЦi} = 4,34 \cdot \sqrt{15 + 0,016 \cdot 6814} = 48,3 \text{ кВ}$$

3) Экономически целесообразная реактивная мощность на стороне высшего напряжения ГПП, потребляемая предприятием из энергосистемы.

$$Q_{ЭCi} = 6814 \cdot 0,23 = 1567 \text{ кВар}$$

4) Полная расчетная нагрузка предприятия, необходимая для выбора силовых трансформаторов ГПП:

$$S_{PIi} = \sqrt{6814^2 + 1567^2} = 6992 \text{ кВА}$$

5) Так как присутствуют потребители I категории выбираются два трансформатора. $S_{НОМ.Т}$ определяется с учетом 40% перегрузки в нормальном режиме и с учетом коэффициента участия потребителей первой категории:

$$S_{ном.т} \approx 0,75 \cdot 6992 \cdot \frac{1}{1,4} = 3746 \text{ кВА}$$

6) Выбираются для дальнейшего рассмотрения трансформаторы с мощностью 4 МВА и 6,3 МВА.

Трансформаторы марок: ТМН-4000/35-10, ТМН-6300/35-10 [25].

Технико-экономический выбор рациональной номинальной мощности трансформаторов

Находятся приведенные потери мощности в стали трансформатора на холостом ходу (Х.Х.), $\Delta P_x'$, кВт:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{un} \cdot \Delta Q_x \quad (4.6)$$

где K_{un} – коэффициент изменения потерь, $K_{un} = 0,05$ кВт/кВар;

ΔQ_x – потери реактивной мощности на холостом ходу, кВар

$$\Delta Q_x = I_{x\%} \cdot S_{ном\ m} / 100 \quad (4.7)$$

где $I_{x\%}$ – ток холостого хода трансформатора, %;

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

Находятся приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора на коротком замыкании (К.З.), $\Delta P_\kappa'$, кВт:

$$\Delta P_\kappa' = \Delta P_\kappa + K_{un} \cdot \Delta Q_\kappa \quad (4.8)$$

ΔQ_κ – потери реактивной мощности короткого замыкания, кВар

$$\Delta Q_\kappa = U_{\kappa\%} \cdot S_{ном\ m} / 100 \quad (4.9)$$

где $U_{\kappa\%}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_z = \frac{S_{П\text{и}}}{S_{ном,м}} \quad (4.10)$$

Приведенные потери мощности трансформатора $\Delta P'_m$, кВт:

$$\Delta P'_m = \Delta P_x' + K_z^2 \cdot \Delta P_\kappa' \quad (4.11)$$

На основании расчетных графиков нагрузки (рисунок 4.1) определяются потери электроэнергии в трансформаторах ПС ΔW , кВт·ч

$$\Delta W = \sum n_i \cdot \Delta P'_x \cdot T_i + \sum \frac{1}{n_i} \cdot K_{зв}^2 \cdot \Delta P'_\kappa \cdot T_i = \Delta W_x + \Delta W_\kappa \quad (4.12)$$

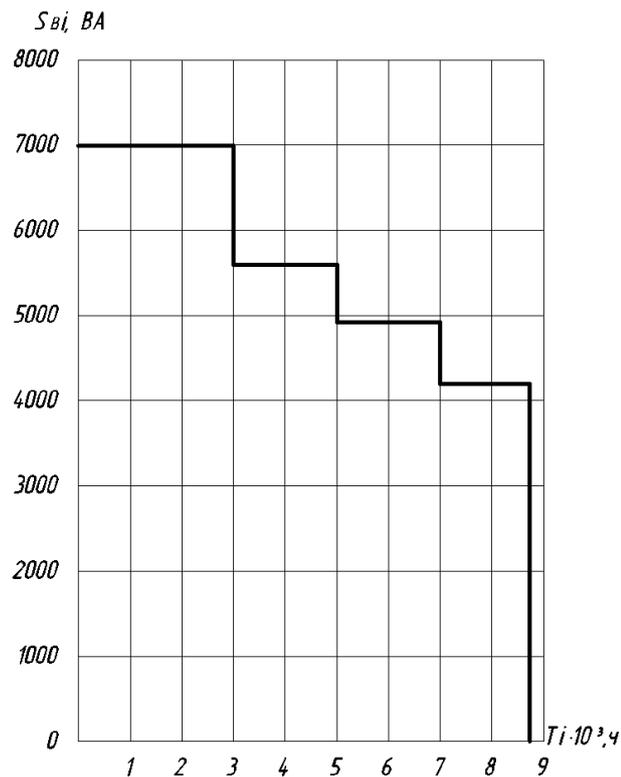


Рисунок 4.1 – Расчетный график нагрузки

На основании расчетных графиков нагрузки определяется стоимость потерь электроэнергии в трансформаторе на подстанции $I_{\Delta W_{ПС}}$, руб:

$$I_{\Delta W_{ПС}} = C_{эx}(T_x) \cdot \Delta W_x + C_{эк}(\tau) \cdot \Delta W_k \quad (4.13)$$

где $C_{эx}(T_x)$ – стоимость 1кВт·ч потерь электроэнергии Х.Х. трансформаторов за время их работы в году T_x , $C_{эx}(T_x) = 0,012$ руб/кВт·ч;

$C_{эк}(\tau)$ – стоимость 1 кВт·ч нагрузочных потерь электроэнергии трансформатора, которые определяются с помощью значения продолжительности максимальной нагрузки T_m , $C_{эк}(\tau) = 0,009$ руб/кВт·ч.

Определяются приведенные затраты $Z_{пр}$, руб

$$Z_{пр} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_э + I_{\Delta W_{ПС}} \quad (4.14)$$

где E_n – номинальный коэффициент эффективности, $E_n = 0,15$;

K – капитальные затраты на оборудование ПС, руб;

$I_э$ – ежегодные эксплуатационные издержки (для ПС 35 кВ $P_{сум} = 0,094$).

$$I_э = P_{сум} \cdot K \quad (4.15)$$

Рассматривается вариант если подстанция будет укомплектована трансформаторами ТМН - 4000/35-10.

Таблица 4.1 - ТМН - 4000/35-10

Тип тр-ра	S _{НОМ} , кВА	U _{НОМ} обмоток, кВ		U _к , %	ΔP _к , кВт	ΔP _х , кВт	I _х , %	Цена, руб
		В	Н					
ТМН- 4000/35-10	4000	37	10,5	7,5	33,5	5,6	0,9	17500

- Потери реактивной мощности на холостом ходу

$$\Delta Q_x = 0,9 \cdot 4000 / 100 = 36 \text{ кВар}$$

- Приведенные потери мощности в стали трансформатора на Х.Х.

$$\Delta P_x' = 5,6 + 0,05 \cdot 36 = 7,4 \text{ кВт}$$

- Потери реактивной мощности короткого замыкания

$$\Delta Q_k = 7,5 \cdot 4000 / 100 = 300 \text{ кВар}$$

- Приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора

$$\Delta P'_k = 33,5 + 0,05 \cdot 300 = 48,5 \text{ кВт}$$

- Коэффициент загрузки трансформатора

$$K_z = \frac{6992}{4000} = 1,75$$

Так как слишком высокий коэффициент загрузки, то применять трансформаторы мощностью 4МВА не рационально.

Рассматривается вариант если подстанция будет укомплектована трансформаторами ТМН - 6300/35-10.

Таблица 4.2 - ТМН - 6300/35-10

Тип тр-ра	S _{НОМ} , кВА	U _{НОМ} обмоток, кВ		U _к , %	ΔP _к , кВт	ΔP _х , кВт	I _х , %	Цена, руб
		В	Н					
ТМН- 6300/35	6300	115	10,5	10,5	44	10	1	36000

- Потери реактивной мощности на холостом ходу

$$\Delta Q_x = 1 \cdot 6300 / 100 = 63 \text{ кВар}$$

- Приведенные потери мощности в стали трансформатора на X.X.

$$\Delta P_x \approx 10 + 0,05 \cdot 63 = 13,2 \text{ кВт}$$

- Потери реактивной мощности короткого замыкания

$$\Delta Q_k = 10,5 \cdot 6300 / 100 = 661,5 \text{ кВар}$$

- Приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора

$$\Delta P'_k = 44 + 0,05 \cdot 661,5 = 77,1 \text{ кВт}$$

- Коэффициент загрузки трансформатора

$$K_z = \frac{6992}{6300} = 1,11$$

- Приведенные потери мощности

$$P_m \approx 13,2 + 1,11^2 \cdot 77,1 = 108 \text{ кВт}$$

Расчетные данные по потерям электроэнергии в трансформаторах сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Расчеты по ТМН - 6300/35-10

i	S_{Bi} , ВА	T_i , ч	$K_{зBi}$	$\Delta W_{к, Bi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
1	7114	3000	1,13	125811	78900
2	5586	2000	0,887	60599	52600
3	4929	2000	0,782	47179	52600
4	4206	1760	0,668	30232	46288
$\sum \Delta W_{к, Bi} = 263822 \text{ кВт·ч}$				$\sum \Delta W_{xi} = 230388 \text{ кВт·ч}$	

- Стоимость потерь электроэнергии в трансформаторе на подстанции

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = 0,012 \cdot 230388 + 0,009 \cdot 263822 = 5139 \text{ руб}$$

- Капитальные затраты на оборудование ПС

$$K = 2 \cdot 36000 = 72000 \text{ руб}$$

- Ежегодные эксплуатационные издержки

$$I_э = 0,094 \cdot 72000 = 6768 \text{ руб}$$

- Приведенные затраты

$$Z_{np} = 0,15 \cdot 72000 + 6768 + 5139 = 22707 \text{ руб.}$$

Для установки на ГПП принимаются трансформаторы ТМН- 6300/35-10
(Рисунок 4.2).

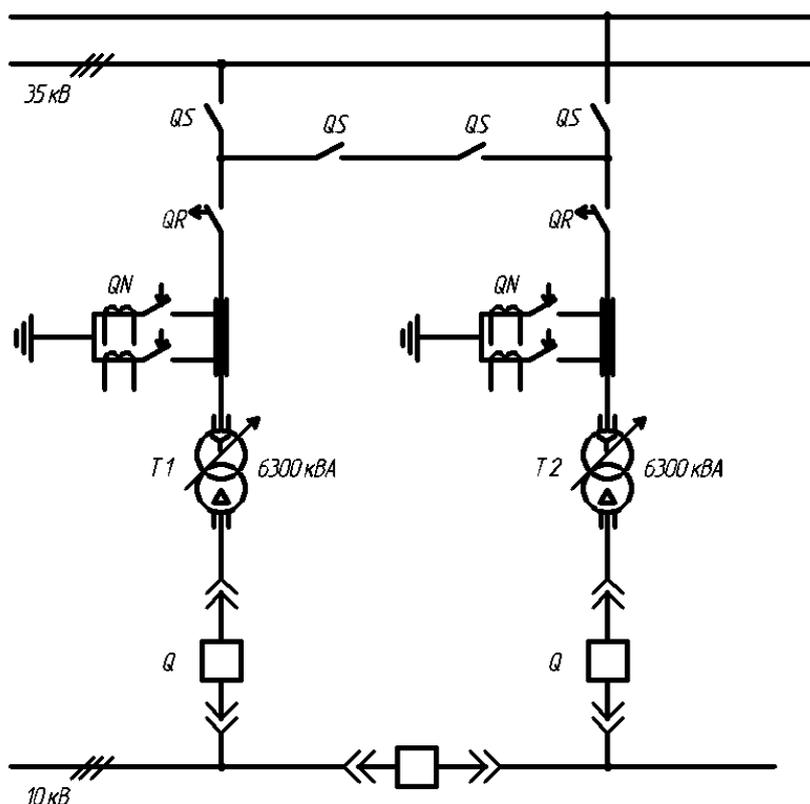


Рисунок 4.2 - Подстанция 35/10 кВ с трансформаторами 6,3 МВА

4.2 Расчет токов короткого замыкания

К коротким замыканиям относится всякое не предусмотренное условия работы оборудования, замыкание между фазами или фаз на землю. КЗ возникает из-за старения или повреждения изоляции, перенапряжении в сетях или ошибочных действиях персонала. При появлении КЗ, в сети резко возрастают токи в фазах, что вызывает снижение напряжения в системе. Особенно велико снижения напряжения вблизи КЗ, поскольку в таком случае все три фазы находятся в одинаковых условиях. Все прочие короткие замыкания относятся к несимметричным.

Расчет токов К.З. в точках К1...К3 для самого мощного цеха. Для этого находятся сопротивления элементов схемы (см. рис.4.3).

Расчет сопротивлений элементов схемы:

Электрическая схема для расчета токов КЗ

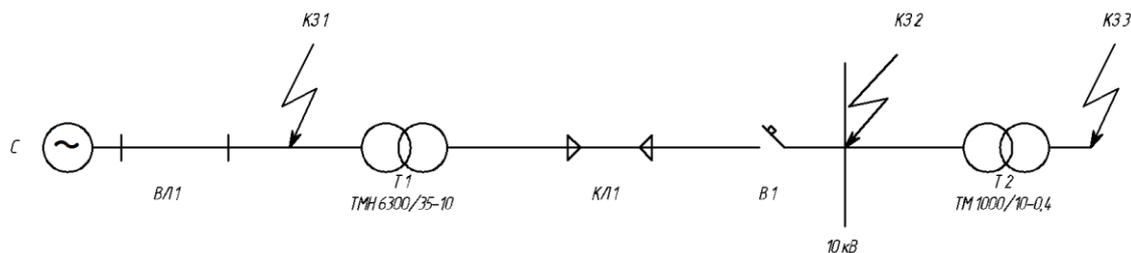


Схема замещения

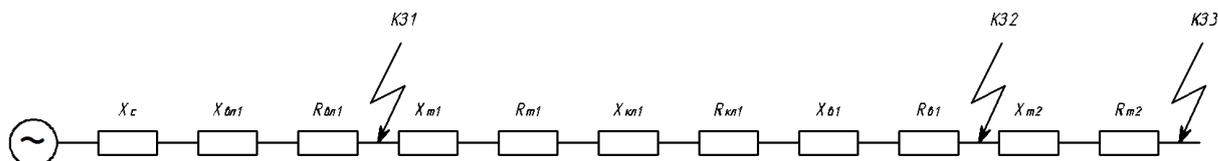


Рисунок 4.3– Схемы к расчету токов короткого замыкания

- Сопротивление системы X_c

$$X_{c.в} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{к.з.}} \quad (4.16)$$

$$X_{c.н} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{к.с}} \quad (4.17)$$

- Относительное сопротивление воздушно-высоковольтной линии $X_{вЛ1}$

$$X_{вЛ1} = \frac{X_0 \cdot l \cdot S_{\bar{\sigma}}}{U_{ном}^2} \quad (4.18)$$

где l – длина воздушной линии, км;

$S_{\bar{\sigma}}$ – базисная мощность, МВА;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение, кВ;

X_0 – сопротивление воздушной линии [1], $X_0 = 0,4$ Ом/км.

- Сопротивление трансформатора $X_{м1}$

$$X_{м1} = \frac{U_{к \%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{н.тр}} \quad (4.19)$$

где $U_{к}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА.

- Сопротивление трансформатора $X_{м2}$

$$R_{м2} = \frac{\Delta P_{к} \cdot U_{ном}^2}{S_{н.тр}^2} \cdot 10^6 \quad (4.20)$$

$$Z_{m2} = \frac{U_{\kappa \%} \cdot U_{ном}^2}{S_{н.тр}} \cdot 10^4 \quad (4.21)$$

$$X_{m2} = \sqrt{(Z_{m2})^2 + (R_{m2})^2} \quad (4.22)$$

- Сопротивление цепи $X_{\Sigma\kappa2}^*$, $R_{\Sigma\kappa2}^*$

$$X_{\Sigma\kappa2}^* = X_{\Sigma\kappa2} \cdot \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}}\right)^2 \quad (4.23)$$

$$R_{\Sigma\kappa2}^* = R_{\Sigma\kappa2} \cdot \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}}\right)^2 \quad (4.24)$$

Расчет токов короткого замыкания (к.з.)

- Индуктивное сопротивление кабельной линии $X_{кл1}$

$$X_{кл1} = X_0 \cdot l \quad (4.25)$$

где X_0 – индуктивное сопротивление одного км [1], $X_0 = 0,083$ Ом/км.

- Активное сопротивление кабельной линии $R_{кл1}$

$$R_{кл1} = R_0 \cdot l \quad (4.26)$$

где R_0 – активное сопротивление одного километра кабеля [1], $R_0 = 0,326$ Ом/км.

- Ток короткого замыкания $I_{к.з}$, кА

$$I_{к.з} = \frac{I_{\sigma}}{X_{\Sigma\kappa}} \quad (4.27)$$

$$I_{к.з} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (4.28)$$

где I_{σ} – базисный ток, кА;

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (4.29)$$

$X_{\Sigma\kappa}$ – суммарное сопротивление цепи до расчетной точки короткого замыкания К.

- Мощность короткого замыкания $S_{к.з}$, МВА

$$S_{к.з} = \sqrt{3} \cdot I_{к.з} \cdot U_{ном} \quad (4.30)$$

$$S_{к.з} = \frac{S_{\sigma}}{Z} \quad (4.31)$$

где Z – полное сопротивление до точки короткого замыкания К,

$$Z = \sqrt{(X_{\Sigma К})^2 + (R_{\Sigma К})^2} \quad (4.32)$$

- Ударный ток короткого замыкания $i_{y\partial}$, кА

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{к.з} \quad (4.33)$$

где k_y – ударный коэффициент.

- Действующие значения полного тока К.З., кА

$$I_y = I_{к.з} \cdot \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} \quad (4.34)$$

Расчет токов к.з. в точке К1:

Система: $U_{ном} = 37$ кВ; $S_{\sigma} = 1000$ МВА; $S_{к.з} = 600$ МВА.

Воздушно-высоковольтная линия: $X_0 = 0,4$ Ом/км; $l = 15$ км; $U_{ном} = 37$ кВ.

Трансформатор: $S_{н.тр} = 6,3$ МВА; $S_{\sigma} = 1000$ МВА.

- Сопротивление системы

$$X_{с.в} = \frac{1000}{600} = 1,667$$

- Относительное сопротивление воздушно-высоковольтной линии

$$X_{вл} = \frac{0,4 \cdot 15 \cdot 1000}{37^2} = 4,4$$

- Сопротивление трансформатора

$$X_{m1} = \frac{7,5 \cdot 1000}{100 \cdot 6,3} = 11,9$$

- Базисный ток

$$I_{\sigma} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15,6 \text{ кА}$$

- Суммарное сопротивление цепи

$$X_{\Sigma К1} = 1,667 + 4,4 = 6,049$$

- Ток короткого замыкания

$$I_{к.з} = \frac{15,6}{6,049} = 2,579 \text{ кА}$$

- Мощность короткого замыкания

$$S_{к.з} = \frac{1000}{6,049} = 165,3 \text{ МВА}$$

- Ударный ток короткого замыкания

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 2,579 = 4,377 \text{ кА}$$

- Действующие значения полного тока К.З

$$I_y = 2,579 \cdot \sqrt{1 + 2(1,2 - 1)^2} = 2,681 \text{ кА}$$

Расчет токов к.з. в точке К2:

Система: $U_{ном} = 10,5 \text{ кВ}$; $I_{к.с} = 12 \text{ кА}$

Кабельная линия: $X_0 = 0,083 \text{ Ом/км}$; $R_0 = 0,326 \text{ Ом/км}$; $l = 0,273 \text{ км}$

Автоматический выключатель: $X_{\epsilon 1} = 0,084 \text{ Ом}$; $R_{\epsilon 1} = 0,12 \text{ Ом}$

- Сопротивление системы

$$X_{с.н} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 12} = 0,51$$

- Индуктивное сопротивление кабельной линии

$$X_{кл1} = 0,083 \cdot 0,273 = 0,023$$

- Активное сопротивление кабельной линии

$$R_{кл1} = 0,326 \cdot 0,273 = 0,089$$

- Сопротивление автоматического выключателя (В1)

$$X_{\epsilon 1} = 0,084; R_{\epsilon 1} = 0,12$$

- Суммарное сопротивление цепи

$$X_{\Sigma к2} = 0,51 + 0,023 + 0,084 = 0,612$$

$$R_{\Sigma к2} = 0,089 + 0,12 = 0,209$$

$$Z = \sqrt{(0,612)^2 + (0,209)^2} = 0,647$$

- Ток короткого замыкания

$$I_{к.з} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,647} = 9,376 \text{ кА}$$

- Мощность короткого замыкания

$$S_{к.з} = \sqrt{3} \cdot 9,376 \cdot 10,5 = 170,5 \text{ МВА}$$

- Ударный ток короткого замыкания

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 9,376 = 14,586 \text{ кА}$$

- Действующие значения полного тока К.З

$$I_y = 9,376 \cdot \sqrt{1 + 2(1,1 - 1)^2} = 9,469 \text{ кА}$$

Расчет токов к.з. в точке КЗ:

Система: $U_{вн} = 10,5 \text{ кВ}$; $U_{нн} = 0,4 \text{ кВ}$

Трансформатор: $S_{н.тр} = 1000 \text{ кВА}$.

- Сопротивление цепи

$$X_{\Sigma к2}^* = 0,612 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 0,888$$

$$R_{\Sigma к2}^* = 0,209 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 0,303$$

Сопротивление трансформатора:

$$R_{m2} = \frac{11,2 \cdot 0,4^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1,792$$

$$Z_{m2} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{1000} \cdot 10^4 = 8,8$$

$$X_{m2} = \sqrt{(8,8)^2 + (1,792)^2} = 8,616$$

- Суммарное сопротивление цепи

$$X_{\Sigma к3} = 0,888 + 8,616 = 9,504$$

$$R_{\Sigma к2} = 0,303 + 1,792 = 2,095$$

$$Z = \sqrt{(9,504)^2 + (2,095)^2} = 9,732$$

- Ток короткого замыкания

$$I_{к.з} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 9,732} = 23,731 \text{ кА}$$

- Мощность короткого замыкания

$$S_{к.з} = \sqrt{3} \cdot 23,731 \cdot 0,4 = 16,4 \text{ МВА}$$

- Ударный ток короткого замыкания

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 0,7 \cdot 23,731 = 23,492 \text{ кА}$$

- Действующие значения полного тока К.З

$$I_y = 23,731 \cdot \sqrt{1 + 2(0,7 - 1)^2} = 25,778 \text{ кА}$$

Все расчетные данные сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет токов КЗ

Точки К.З.	I_k , кА	$i_{уд}$, кА	I_y , кА	$S_{к.з.}$, МВА
К1	2,579	4,377	2,681	165,3
К2	9,376	14,586	9,469	170,5
К3	23,731	23,492	25,778	16,4

4.3 Выбор токоведущих частей и электрооборудования подстанции

Кабели, как шины, выбираются по номинальным потерям (тока, напряжения) и проверяются на термическую устойчивость при коротких замыканиях. [5]

Для защиты кабельной линии трансформатора выбирается высоковольтное оборудование по условию длительной работы и проверяется условием короткого замыкания. Аппараты должны иметь технические данные, превышающие расчетные. [5]

Выбор высоковольтного кабеля

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

$$I_{н.тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (4.35)$$

где $S_{н.тр.}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

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

- Предварительное сечение кабеля S , мм²

$$S = \frac{I_{н.тр}}{\gamma_э} \quad (4.36)$$

где $\gamma_э$ – плотность тока для медного кабеля, [4] $\gamma_э = 1,2$ А/мм².

- Проверка сечения кабеля на термическую устойчивость токам короткого замыкания $S_{мин}$, мм²

$$S_{мин} = \frac{(I_{к.з2} \cdot \sqrt{t_{пр}})}{c} \quad (4.37)$$

где c – коэффициент, соответствующий разности выделенной теплоты в проводнике после и до короткого замыкания, для медных жил $c = 160$.

$t_{пр}$ – приведенное время короткого замыкания, $t_{пр} = 0,8$.

Расчет

- Номинальный ток трансформатор

$$I_{н.тр} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,373 \text{ А}$$

- Предварительное сечение кабеля

$$S = \frac{36,373}{1,2} = 30,31 \text{ мм}^2$$

Предварительно выбран медный кабель стандартное сечение 50мм² ВВГ 3х50 $I_n = 125$ А [4].

- Проверка сечения кабеля на термическую устойчивость токам короткого замыкания

$$S_{мин} = \frac{(9,376 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,8})}{160} = 52,4 \text{ мм}^2$$

Выбран медный кабель стандартного сечения ВВГ –10– 3х95 [19] с допустимым током $I_d = 210$ А [1].

Все виды аппаратов должны выбираться в соответствии с вычисленными максимальными расчетными величинами (тока, напряжения, мощностью отключения) для нормального режима и короткого замыкания.

Для обеспечения надёжной безаварийной работы расчетные величины должны быть меньше допустимых значений (данные сведены в таблицу 4.5).

Разъединители – аппараты, не предназначенные для отключения токов короткого замыкания, поэтому на отключающую способность их не проверяют. [5]

Выбор высоковольтных выключателей, разъединителей, трансформаторов тока напряжением выше 1000В.

Основные параметры вакуумных выключателей серии ВВПЭ-10-20/630 УЗ [26]:

- номинальное напряжение – 10 кВ;
- номинальное рабочее напряжение – 7,2 кВ;
- номинальный ток – 1250 – 3150 А;
- номинальный ток отключения – 40 кА;
- ток электродинамической стойкости – 102; 128 кА;
- ток термической стойкости (в течении 3с) 40 кА;
- полное время отключения – более 0,065 с;
- собственное время включения – не более 0,120 с;
- собственное время отключения – не более 0,035- 0,050 с;
- механический ресурс – 30000 циклов;
- коммутационный ресурс при номинальном токе – 30000 циклов;
- коммутационный ресурс при номинальном токе отключения – 40-50 отключений;
- межконтактное расстояние – 310 мм;
- межполюсное расстояние – 200; 230 мм.

Габаритные размеры выключателя РВ-10/400 УХЛ2 [27]:

- ширина 560; 620мм;
- глубина – 435 мм;
- высота 611; 674 мм
- разъединитель типа РВ-10/400 УХЛ2;
- трансформатор тока типа ТОЛ 10;

Срок эксплуатации выключателя до списания – не менее 25 лет.

Таблица 4.5 – высоковольтное оборудование [4]

Выключатель вакуумный ВБПЭ-10-20/630 УЗ		Разъединитель РВ-10/400 УХЛ2		Трансформатор тока ТОЛ 10	
Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные
$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ
$I_n = 36,373$ А	$I_n = 630$ А	$I_n = 36,373$ А	$I_n = 400$ А	$I_n = 36,373$ А	$I_n = 75$ А
$i_{yd} = 14,586$ кА	$I_{откл СП} = 52$ кА	$i_{yd} = 14,586$ кА	$I_{макс} = 52$ кА	-	-
$I_{к.32} = 9,376$ кА	$I_{откл СП} = 20$ кА	-	-	-	-
$I_{к.32}^2 \cdot t_{np} =$ $9,376^2 \cdot 0,4 =$ $35,1$ кА ² ·с	$I_5^2 \cdot t_5 =$ $20^2 \cdot 5 =$ 2000 кА ² ·с	$I_{к.32}^2 \cdot t_{np} =$ $9,376^2 \cdot 0,4 =$ $35,1$ кА ² ·с	$I_{10}^2 \cdot t_{10} =$ $10^2 \cdot 10 =$ 1000 кА ² ·с	$K_d = i_{yd}/\sqrt{2} \cdot I_n =$ $14,586/\sqrt{2} \cdot 36,373$ $= 175,1$	$K_d = 250$
$S_k = 170,5$ МВА	$S_{отк} = 350$ МВА	-	-	$K_m = (I_{к.31} \sqrt{t_{np}})/I_n =$ $(1,152 \sqrt{0,4})/36,373$ $= 115,6$	$K_m = 200$

4.4 Расчет заземления

Расчет ведется согласно методике в пункте 2.6.

- Сопротивление стержня

$$R_{ст} = 0,00227 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 1,7 = 38,6 \text{ Ом}$$

- Приблизительное количество заземлителей

$$n = \frac{38,6}{0,74 \cdot 0,5} = 105 \text{ шт}$$

Для заземления взять 105 прутковых электродов, вбить в землю на расстоянии 5 м друг от друга на глубине 0,7 м, свариваются металлической полосой.

4.5 Расчёт молниезащиты

Для защиты от прямых ударов молнии открытых распределительных устройств (ОРУ-35) главной понизительной подстанции устанавливаются стержневые молниеотводы.

Данная ГПП имеет размеры $a = 45$ м, $b = 28,5$ м и высоту $h_x = 9$ м. Подстанция оборудуется четырьмя молниеотводами, расположенными на расстоянии 3 м от углов подстанции [12]. Высота молниеприемника над уровнем земли принимается $h = 16$ м.

Расчет ведется согласно пособию [13].

- Высота вершины конуса стержневого молниеотвода h_0 , м

$$h_0 = 0,92 \cdot h \quad (4.38)$$

$$h_0 = 0,92 \cdot 16 = 14,7 \text{ м}$$

- Высота средней части зоны двойного молниеотвода h_{ca} , h_{cb} , м

$$h_c = h_0 - 0,14(L - h) \quad (4.39)$$

где L – расстояние между двумя стержневыми молниеотводами
 $L_a = 51$ м, $L_b = 34,5$ м.

$$h_{ca} = 14,7 - 0,14(51 - 16) = 9,82 \text{ м}$$

$$h_{cb} = 14,7 - 0,14(34,5 - 16) = 12,1 \text{ м}$$

- Высота средней части зоны с четырьмя молниеприемниками h_c , м

$$h_c = 0,5(h_{ca} - h_{cb}) \quad (4.40)$$

$$h_c = 0,5 \cdot (9,82 - 12,1) = 11 \text{ м}$$

- Радиус защиты на уровне земли r_0 , м

$$r_0 = 1,5 \cdot h \quad (4.41)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 16 = 24 \text{ м}$$

- Радиус защиты на высоте защищаемого сооружения r_x , м

$$r_x = 1,5 \cdot (h - 1,1 \cdot h_x) \quad (4.42)$$

$$r_x = 1,5 \cdot (16 - 1,1 \cdot 9) = 9,15 \text{ м}$$

- Радиус защиты средней части зоны на высоте защищаемого сооружения r_{cx} , м

$$r_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x) \cdot \frac{1}{h_0} \quad (4.43)$$

$$r_{cxa} = 24 \cdot (9,82 - 9) \cdot \frac{1}{14,7} = 1,34 \text{ м}$$

$$r_{cxb} = 24 \cdot (12,1 - 9) \cdot \frac{1}{14,7} = 5,1 \text{ м}$$

- Должно выполняться условие защищенности $r_{cx} > 0$.

$$r_{cxa} = 1,34 \text{ м} > 0 \quad r_{cxb} = 5,1 \text{ м} > 0$$

Условия выполняются, значит ГПП находится в зоне защиты молниеотводов.

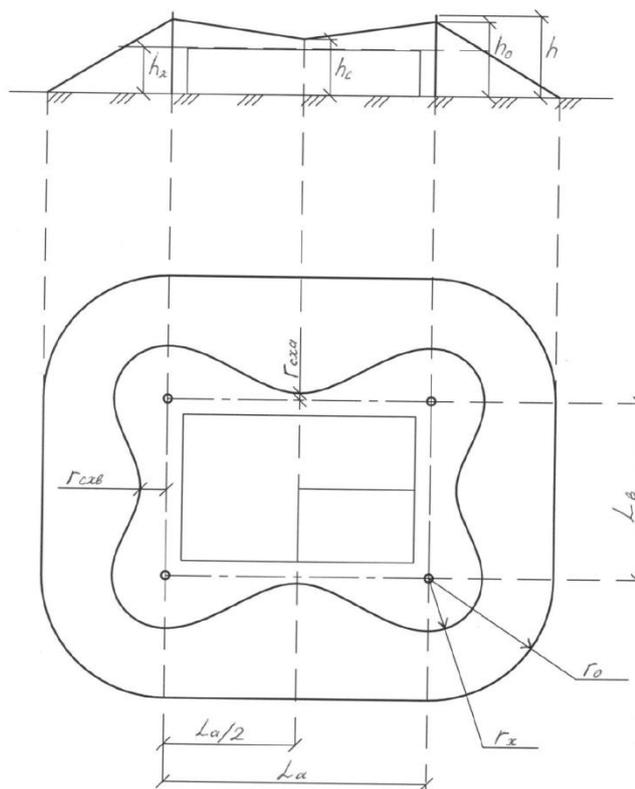


Рисунок 4.4 – Зона молниезащиты

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении выпускной квалификационной работы была выбрана магистральная схема электроснабжения предприятия и смешенная схема в цеху. Для электроснабжения использовались медные кабели и шинопроводы.

Питание предприятия идет от сетей 35 кВ. Подключение ГПП осуществляется от двух источников. От ГПП питается десять КТП напряжением 10 кВ. На вторичном напряжении КТП 0,4 кВ для цеховых сетей.

В данной ВКР запроектирована современная, экономичная и надежная система электроснабжения завода «Кабельпласт». Запроектированная система отвечает требованиям ГОСТ и обеспечивает требуемый уровень надежности и безопасности электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шеховцев, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения./ В.П. Шеховцев – М, Форум-Инфра-М, 2009. – 120с.;
2. Крючков, И.П. Электрооборудование станций и подстанций./ И.П. Крючков – М, Форум, 2009. – 224с.;
3. Правила устройства электроустановок. Шестое издание, дополненное с исправлениями./ - М.: ГОСЭНЕРГОНАДЗОР, 2000
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (введены в действие с 01.07.2003 г., утв. Минэнерго РФ от 13.01.2003 г., зарегистрировано Минюстом РФ №1445 от 22.01.2003 г.);
5. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения./ В.А. Андреев – М. Форум, 2011. – 420с.;
6. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках./ П.А. Долин – М, Энергоатомиздат, 2010. – 364с.;
7. Рожков, Я.Д. Электрооборудование станций и подстанций./ Я.Д. Рожков – М, Форум, 2009. – 568с.;
8. Райцельский, Л.А. Справочник по осветительным сетям./ Л.А. Райцельский – М, Форум, 2009. – 254с.;
9. Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов. / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
10. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. / В.В. Вахнина, В.Л. Горячева, Ю.В. Степкина – Тольятти: ТГУ, 2004. - 90 с.
11. Бондаренко, М.А., Петунин П.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Компенсация реактивной мощности в распределительных

- сетях. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов спец.0303. / М.А. Бондаренко, П.И. Петунин – Тольятти, 1988.
12. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87.
13. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. методическое пособие для курсового проектирования./ В.П. Шеховцов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. – 214 с., ил.
14. EAE Elektrik E-LINE KX Busbar Systems 400A...6300A [Электронный ресурс] – 2015 – Режим доступа: http://eae.com.tr/EAE-ENG/upload/E-Line%20KX_eng.pdf
15. EAE Elektrik E-LINE КОП Busbar Systems 160...800A [Электронный ресурс] – 2015 – Режим доступа: <http://eae.com.tr/EAE-ENG/upload/E-Line%20КОП%20eng.pdf>
16. EAE Elektrik E-LINE МК Busbar Systems 100-160-225A [Электронный ресурс] – 2015 – Режим доступа: http://eae.com.tr/EAE-ENG/upload/E%20Line%20МК_%20ng.pdf
17. Лампы дуговые газоразрядные [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа: <http://www.energy-sell.com/ru/katalog/katalog/svetotekhnicheskaja-produkcija/lampy-dugovye/lampy-dri-250vt-philips-hpi-303>
18. Industrial lighting НВ [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа <http://www.ltcompany.com/en/products/hb-led/>
19. ОАО "НП "ПОДОЛЬСКАКАБЕЛЬ" Кабель силовой марки ВВГнг-LS [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа: <http://gisprofi.com/catalog/items4564.html>
20. Автоматический выключатель ВА 47-29 [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа: <http://www.elektro-portal.com/series/show/vykljuchatel-47-29>
21. EAE Elektrik E-LINE КАМ 25-32 А Lighting Busbar Systems [Электронный ресурс] – 2015 – Режим доступа: http://eae.com.tr/EAE-ENG/upload/E%20Line%20КАМ-КАР_ing.pdf

22. Щиты осветительные [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа:
<http://www.etm.ru/cat/nn/9809513/>
23. Трансформаторы ТСЗ [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа:
<http://ekb.propartner.ru/offers/transformator-tsz-630-10-6-0-4-i927232.html>
24. ТМ 630/10-6/04 [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа:
http://sil-trans-form.ru/tm_630/10-6/04
25. Каталог силовых трансформаторов с характеристиками и фото [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа:
<http://silovoytransformator.ru/35-kv/tmn-6300-35-u1.htm>
26. Вакуумные выключатели производства ОАО «ЭЛКО» [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа: <http://leg.co.ua/info/vyklyuchateli/vakuumnye-vyklyuchateli-proizvodstva-oao-elko.html>
27. Каталог электрооборудования. Разъединители РВЗ, РВ [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа:
http://velsnab.ru/catalog/elektrooborudovanie/razediniteli/razediniteli_rvz/2034/