

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 электроприемников, $n_3$
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 <i>P<sub>ном</sub></i> , 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

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

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

- среднесменная активная мощность

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

- максимальная реактивная мощность

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

- коэффициент использования  $K_{\text{уШМА2}} = \frac{112,55}{402} = 0,28$

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

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

- эффективное число электроприемников

Так как  $n = 65 \geq 5$ ,  $K_{\text{у}} = 0,28 > 0,2$ ,  $m = 27 \geq 3$   $n_{\text{э}} = n$

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

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

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

- максимальная полная мощность

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

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

- 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. $K_{\max}$	Максимальная мощность			Макс. ток $I_{\max}$ , А
			одного $P_{н.одн.}$	группы $P_{н.общ.}$					актив. мощн. $P_{см},$ кВт	реакт. мощн. $Q_{см},$ кВАр			актив. $P_{\max},$ кВт	реакт. $Q_{\max},$ кВАр	полн. $S_{\max},$ 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  $\lambda$  – 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  $\Phi$ , 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;

$\eta$  – коэффициент полезного действия.

- Расчетное значение освещенности  $E_p$ , лк

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

где  $\Phi_n$  – 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<sub>нг</sub>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;

$\alpha$  – 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  $\Delta P_T$ , кВт

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

- потери реактивной мощности  $\Delta Q_T$ , кВАр

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

- потери полной мощности  $\Delta S_T$ , 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  $20^\circ\text{C}$ . 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;

$\eta$  – 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<sub>н.</sub></i> , кВт	Номинал. ток электр. приемника <i>I<sub>ном</sub></i> , А	Пуск. ток электро-приемника <i>I<sub>пуск</sub></i> , А	Номинальный ток теплового расцепителя <i>I<sub>теп.р.</sub></i> , А		Номинальный ток электромагнитного расцепителя <i>I<sub>эм.р.</sub></i> , А		Номинал. ток аппарата <i>I<sub>ном</sub></i> , А	Тип аппарата	Сечение провода <i>S<sub>макс.</sub></i> , мм <sup>2</sup>	Номинал. допуст. ток <i>I<sub>доп.</sub></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 <sub>нг</sub> 4x50	120
2	Вентиляторы	4	4,8	11,43	45,71	13,14	16	57,14	160	25	ВА51-25	ВВГ <sub>нг</sub> 4x2,5	19
3	Компрессоры	2	30	71,43	285,71	82,14	100	357,14	1000	100	ВА51-31	ВВГ <sub>нг</sub> 4x35	85
4	Алмазно-расточные станки	4	2,5	7,35	29,41	8,45	10	36,76	100	25	ВА51-25	ВВГ <sub>нг</sub> 4x2,5	19
5	Горизонтально-расточные станки	6	25	73,5	294,12	338,24	400	367,65	4000	400	ВА51-37	ВВГ <sub>нг</sub> 4x185	345
6	Продольно-строгальные станки	4	40	117,65	470,59	135,29	160	588,24	1600	160	ВА51-33	ВВГ <sub>нг</sub> 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<sub>ном</sub></i> = 1000 А, ВА53-41, <i>I<sub>ном</sub></i> = 1000 А													
7	Расточные станки	8	14	41,18	164,7	47,36	50	205,88	500	100	ВА51-31	ВВГ <sub>нг</sub> 4x16	55
8	Поперечно-строгальные станки	5	10	30,3	121,2	34,85	40	151,52	400	100	ВА51-31	ВВГ <sub>нг</sub> 4x10	39
9	Радиально-сверлильные станки	8	3	11,54	46,15	13,27	16	57,69	160	25	ВА51-25	ВВГ <sub>нг</sub> 4x2,5	19
10	Вертикально-сверлильные станки	5	4	15,38	61,54	17,69	20	76,92	200	25	ВА51-25	ВВГ <sub>нг</sub> 4x2,5	19
11	Токарно-револьверные станки	5	4,5	17,3	69,23	19,9	25	86,54	250	25	ВА51-25	ВВГ <sub>нг</sub> 4x4	23
ШРА-1 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (КОА0455-ПВ-DDT), IP55, <i>I<sub>ном</sub></i> = 400 А, ВА52-37, <i>I<sub>ном</sub></i> = 400 А													
9	Радиально-сверлильные станки	8	3	11,54	46,15	13,27	16	57,69	160	25	ВА51-25	ВВГ <sub>нг</sub> 4x2,5	19
10	Вертикально-сверлильные станки	5	4	15,38	61,54	17,69	20	76,92	200	25	ВА51-25	ВВГ <sub>нг</sub> 4x2,5	19
11	Токарно-револьверные станки	11	4,5	17,3	69,23	19,9	25	86,54	250	25	ВА51-25	ВВГ <sub>нг</sub> 4x4	23
12	Электropечи сопротивления	2	32	64	256	73,6	80	320	800	100	ВА51-100	ВВГ <sub>нг</sub> 4x35	85
4	Алмазно-расточные станки	4	2,5	7,35	29,41	8,45	10	36,76	100	25	ВА51-25	ВВГ <sub>нг</sub> 4x10	39
13	Зачочные станки	4	1,5	4,41	17,65	5,07	6,3	22,06	63	25	ВА51-25	ВВГ <sub>нг</sub> 4x2,5	19
ШРА-2 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (МКА2257-STD), IP55, <i>I<sub>ном</sub></i> = 225 А, ВА51-32, <i>I<sub>ном</sub></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<sub>ном</sub></i> = 400 А, ВА51-37, <i>I<sub>ном</sub></i> = 400 А													
ШТМ Многопроводниковая шинная система "Троллей Басбар" E-Line ТВ, IP55, <i>I<sub>ном</sub></i> = 1350 А, ВА54-43, <i>I<sub>ном</sub></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 <sub>нг</sub> LS 4x800 мм <sup>2</sup>
2	ШРА 1	333,92	397	ВВГ <sub>нг</sub> LS 4x185 мм <sup>2</sup>
3	ШРА 2	162,38	211	ВВГ <sub>нг</sub> LS 4x70 мм <sup>2</sup>
4	ШМА 2	1301,1	1481	ВВГ <sub>нг</sub> LS 4x800 мм <sup>2</sup>
5	ШТМ	719,88	1030	ВВГ <sub>нг</sub> LS 4x800 мм <sup>2</sup>

Для соединения магистрального и распределительного шинопроводов используется кабель, рассчитанный на длительно допустимый ток. Такой ток обеспечивают два соединенных параллельно кабеля ВВГ<sub>нг</sub>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;

$\rho$  – 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  $\eta$  – 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  $K_m$ , 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 м<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup>	$F_n$ , м <sup>2</sup>	$P_{осв}$ , 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
<b>Нагрузка 0,4 кВ</b>														
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 $\sigma$ , кВА/м <sup>2</sup>	< 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  $\sigma$  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  $\sigma$  в пределах 0,05-0,1, к установке принимается трансформатор мощностью 630 кВА.

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

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

$Q_{\varepsilon}$  - 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 однотрансформаторная 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 $\sigma$ , кВА/м <sup>2</sup>	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 $\sigma$ , кВА/м <sup>2</sup>	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 $\Delta P_{TP}$ , 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;

$\Delta Q_x$  – 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:

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

$\Delta Q_\kappa$  – 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:

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

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  $\Delta W$ , кВт·ч

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

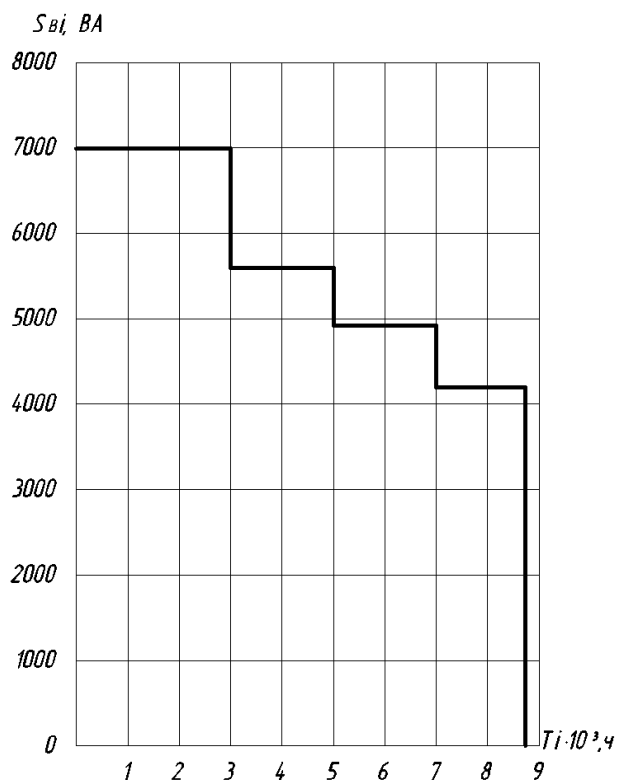


Рисунок 4.1 – Расчетный график нагрузки

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 <sub>НОМ</sub> , кВА	U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	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 <sub>НОМ</sub> , кВА	U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	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	$\Delta W_{xi}$ , 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).

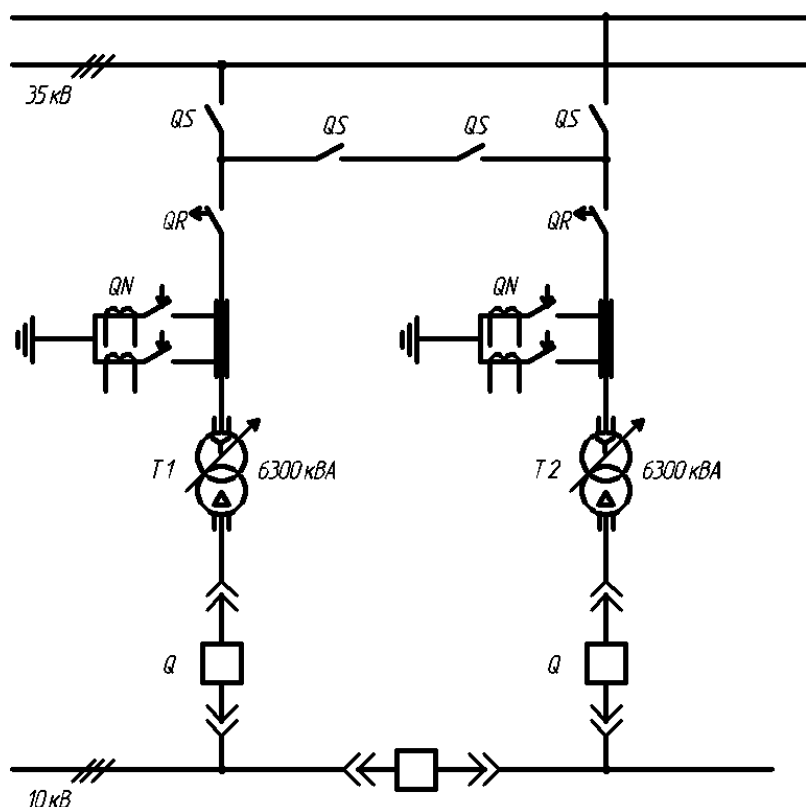


Рисунок 4.2 - Подстанция 35/10 кВ с трансформаторами 6,3 МВА

#### 4.2 Расчет токов короткого замыкания

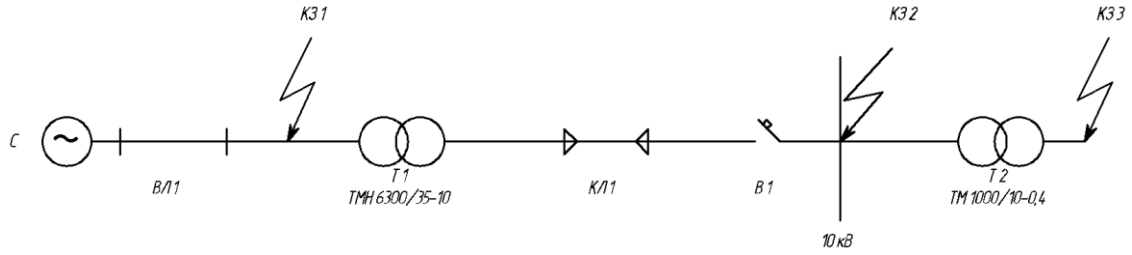
К коротким замыканиям относится всякое не предусмотренное условия работы оборудования, замыкание между фазами или фаз на землю. КЗ возникает из-за старения или повреждения изоляции, перенапряжении в сетях или ошибочных действиях персонала. При появлении КЗ, в сети резко возрастают токи в фазах, что вызывает 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

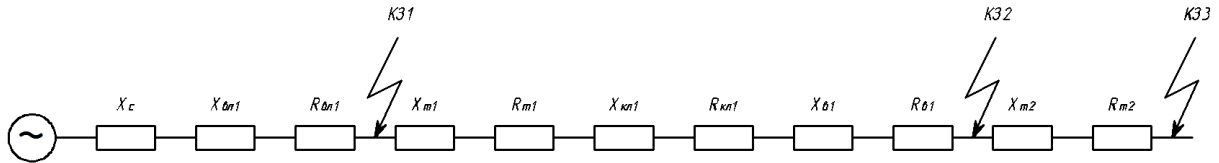


Рисунок 4.3– Схемы к расчету токов короткого замыкания

- 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  $I_{\sigma}$  – 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  $S$ , мм<sup>2</sup>

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

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

- Проверка сечения кабеля на термическую устойчивость токам короткого замыкания  $S_{мин}$ , мм<sup>2</sup>

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

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 50мм<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> ·с	$I_5^2 \cdot t_5 =$ $20^2 \cdot 5 =$ $2000$ кА <sup>2</sup> ·с	$I_{к.32}^2 \cdot t_{np} =$ $9,376^2 \cdot 0,4 =$ $35,1$ кА <sup>2</sup> ·с	$I_{10}^2 \cdot t_{10} =$ $10^2 \cdot 10 =$ $1000$ кА <sup>2</sup> ·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.

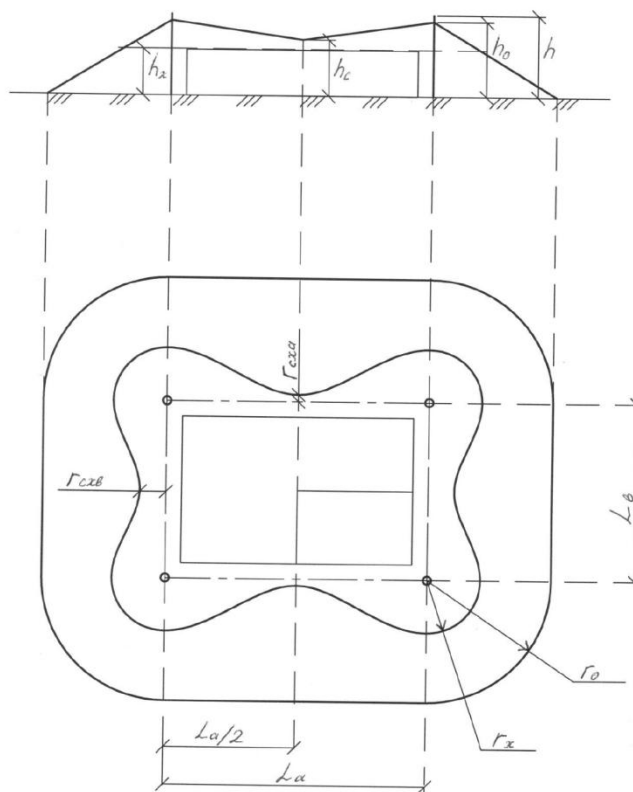


Рисунок 4.4 – Зона молниезащиты

## **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](http://eae.com.tr/EAE-ENG/upload/E-Line%20KX_eng.pdf)
  15. EAE Elektrik E-LINE KOII Busbar Systems 160...800A [Электронный ресурс] – 2015 – Режим доступа: <http://eae.com.tr/EAE-ENG/upload/E-Line%20KOII%20eng.pdf>
  16. EAE Elektrik E-LINE MK Busbar Systems 100-160-225A [Электронный ресурс] – 2015 – Режим доступа: [http://eae.com.tr/EAE-ENG/upload/E%20Line%20MK\\_%20ng.pdf](http://eae.com.tr/EAE-ENG/upload/E%20Line%20MK_%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 HB [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 KAM 25-32 A Lighting Busbar Systems [Электронный ресурс] – 2015 – Режим доступа: [http://eae.com.tr/EAE-ENG/upload/E%20Line%20KAM-KAP\\_ing.pdf](http://eae.com.tr/EAE-ENG/upload/E%20Line%20KAM-KAP_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](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/](http://velsnab.ru/catalog/elektrooborudovanie/razediniteli/razediniteli_rvz/2034/)