

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)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений  
(направленность (профиль))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция электрооборудования и электрохозяйства машиностроительного корпуса автомобильного завода»

Студент(ка)

Д.Г. Канаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.Н. Черненко

(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 была спроектирована система электроснабжения машиностроительного корпуса. Были произведены расчеты по определению ожидаемых нагрузок корпуса, номинальных токов.

В работе приведен выбор числа и типов трансформаторов по приведённым общим затратам.

По рассчитанным значениям было выбрано защитное оборудование электроснабжения корпуса и приведена схема электроснабжения корпуса с обоснованием.

В тексте работы также приводится расчет токов короткого замыкания с проверкой автоматических выключателей на способность противостоять воздействию ударных токов КЗ.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки объемом 54 страницы, дополняемой 7 таблицами и 9 рисунками.

## Содержание

Введение .....	4
1. Краткая характеристика объекта проектирования .....	5
2. Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху.....	8
2.1 Определение электрических нагрузок от силовых потребителей .	8
2.2 Определение электрических нагрузок освещения .....	9
2.3 Определение активную и реактивную осветительные нагрузки.....	13
2.4 Определение суммарных электрических нагрузок по корпусу ...	14
2.5 Монтаж светильников.....	14
3.Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций .....	19
3.1 Предварительный расчёт мощности и числа трансформаторов ..	19
3.2 Расчёт номинальной мощности трансформаторной подстанции 193.....	19
3.4 Выбор КТП.....	28
3.5 Расчет контура заземления для КТП-СЭЩ-П 1600/10/0,4.....	29
4. Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения...33	
5 Выбор оборудования внутрицеховой сети.....	34
5.1 Выбор оборудования внутрицеховой сети с учетом разделения ЭП.....	34
5.2 Выбор измерительных трансформаторов тока .....	44
6 Расчёт токов короткого замыкания.....	46
6.1 Параметры расчётной схемы .....	47
6.2 Расчёт токов КЗ.....	48
6.3 Проверка оборудования .....	51
Заключение .....	52
Список использованных источников.....	53

## Введение

С ростом технологичности производства в машиностроительной отрасли, так же возрастают и требования предъявляемые к электроэнергии. Более сложный процесс производства требует от электроэнергии повышения надежности, качества и экономичности. Для достижения данных требований требуется замена уже устаревшего оборудования на новое.

Правильно выбранное электроэнергетическое оборудование является гарантом долгой и бесперебойной работы всех объектов машиностроительного предприятия. Поэтому должны применяться новые методы проектирования и новейшее электроэнергетическое оборудование.

Электроснабжение данного корпуса осуществляется от ГПП 110/10 кВ. Далее кабель прокладывается в кабельном тоннеле до двух ТП 10/0,4 кВ. В самом корпусе все электроприемники запитываются кабелями от сети 0,4 кВ.

В данной выпускной квалификационной работе проводится реконструкция электрооборудования машиностроительного корпуса. Данная реконструкция проводится в связи с увеличением производства и установкой в данном корпусе новейших роботизированных станков.

Целью работы является повышение показателей качества электроэнергии и надёжности электрооборудования и электрохозяйства корпуса.

## 1 Краткая характеристика объекта проектирования

Данный машиностроительный корпус принадлежит компании ОАО “АВТОВАЗ”. Данный корпус специализируется на изготовлении двигателей для автомобилей Лада.

Электроснабжение корпуса осуществляется от ГПП расположенной на расстоянии 250 метров от здания. Потребители машиностроительного корпуса относятся к 2 категории надежности электроснабжения. Основные потребители – машины литья под давлением.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 156 \times 57 \times 15$  м, все помещения одноэтажные высотой 15 метров.

Перечень электрооборудования машиностроительного корпуса приведено в таблице 1. Мощность электропотребления ( $P_{наcn}$ ) указана для одного электроприемника.

Таблица 1 – Перечень электрооборудования машиностроительного корпуса

Наименование электрооборудования	$P_{\text{пасп}}$ , кВт	Примечание
Инструментальный стол	5	
фрезерный станок	20	
токарный станок	10	
фрезерный станок ЧПУ	30	
обрезной станок	5	
радиально-сверлильный станок	20	
электроэрозионный станок	50	
сварочный участок	142,5	
маркировочный пресс	50	
установка контроля системы охлаждения	15	
машина промывки	10	
шлифовальный станок	2	
Опорный рабочий стол	2	
Печь	534	

Продолжение таблицы 1

Фильтрустановка	54	
обрабатывающий центр	61	
моечная линия	86	
установка контроля герметичности	14	
кран	44	
установка контроля утечек	5	
зарядная станция	68	
машина литья под давлением	344	
плавильная печь	20	
станция подогрева ковшей	2	
пылесборник	20	

## 2 Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху

### 2.1 Определение электрических нагрузок от силовых потребителей

Рассчитываем суммарную активную мощность каждой подгруппы электроприёмников:

$$P_{H.\Sigma} = P_{НОМ} \cdot n \quad (2.1)$$

Руководствуясь справочными данными [11], выписываем для каждого электроприёмника соответствующие коэффициенты использования ( $k_u$ ) и коэффициенты мощности ( $\cos \varphi$ ).

Определяем коэффициент силовой сборки:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}} ; \quad (2.2)$$

$$m = \frac{534}{2} = 267 \Rightarrow m > 3.$$

Определяем среднесменные активную и реактивную нагрузки для каждой подгруппы электроприёмников:

$$P_{CM} = K_{II} \cdot P_{H.\Sigma} ; \quad (2.3)$$

$$Q_{CM} = P_C \cdot tg \varphi \quad (2.4)$$

Определяем средний коэффициент использования и среднее значение  $tg \varphi_{cp}$  по цеху без учета освещения:

$$K_{II.CP} = \frac{\sum P_{CM}}{\sum P_{H.\Sigma}} ; \quad (2.5)$$



$$K_{H.CP} = \frac{1618,65}{3303,5} = 0,49 ;$$

$$tg \phi_{cp} = \frac{\sum Q_{CM}}{\sum P_{CM}} ; \quad (2.6)$$

$$tg \phi_{cp} = \frac{1639,849}{1618,665} = 1,01 .$$

Определяем количество эффективных электроприёмников :

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum P_{H.\Sigma})^2}{\sum P_{H.\Sigma}^2} ; \quad (2.7)$$

$$n_{\text{э}} = 7 \text{ шт.}$$

По [1] определяем коэффициент максимума:

$$K_M = 1,58 .$$

Определяем расчётные активную и реактивную нагрузки трёхфазных электроприёмников:

$$P_p = K_M \cdot \sum P_{CM} ; \quad (2.8)$$

$$P_p = 1,58 \cdot 1618,65 = 2557,47 \text{ кВт};$$

учитывая, что  $n_{\text{э}} > 10$ , то

$$Q_p = \sum Q_{CM} * 1,1 ; \quad (2.9)$$

$$Q_p = 1803,83 \text{ квар.}$$

Определяем полную расчётную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} ; \quad (2.10)$$

$$S_p = \sqrt{2557,47^2 + 1803,83^2} = 3129,61 \text{ кВА.}$$

Определяем расчётный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} ; \quad (2.11)$$

$$I_p = \frac{3129,61}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 4517,21 \text{ А.}$$

## 2.2 Определение электрических нагрузок освещения

Расчеты количества и мощности люминесцентных ламп были произведены в программе DiaLux 4.10.

Для каждого помещения определяются:

$$S = a \cdot b - c \cdot d \quad (2.12)$$

где  $a$  – длина помещения, м;  $b$  – ширина помещения, м;  $c$  – длина помещения, не относящегося к территории производственного цеха;  $d$  – ширина помещения, не относящегося к территории производственного цеха.

Определяется индекс помещения:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2) \cdot (a + b)} \quad (2.13)$$

где  $H$  – высота цеха, м;  $h_1$  – высота подвеса светильника;  $h_2$  – высота рабочей поверхности.

По [2] определяется коэффициент запаса:

По [2] определяем коэффициенты отражения потолка, стен и пола:

Потолок: 70%

Стены: 50%

Пол: 20%

По [8] определяем необходимый уровень освещения в помещении.

Руководствуясь рекомендациями принимаем к установке светильники ТГУ ЛСПО с номинальной мощностью 58 Вт.

Данные светильники предназначены для освещения производственных и складских помещений, торговых залов, спортивных сооружений с высотой подвеса от 5 до 16 метров. Обеспечивают высокий уровень равномерной освещенности от 300 Лк до 2000 Лк при значительной высоте подвеса. Корпус изготовлен из листовой стали толщиной 0,55 мм, окрашен белой высокопрочной краской. Встроен новейший электронный ПРА с микроконтроллером. Класс энергопотребления А2, АВАТ (Best Available Technology). Данная технология позволяет снизить потребление электроэнергии лампой на 9% от номинала. Коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ ) 0,98. Имеет класс защиты IP 54. Пульсации светового потока не более 1,5 %. Светильник ТГУ ЛСПО изображен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид ТГУ ЛСПО 4x58

Кривые силы распределения света представлены на рисунке 2.

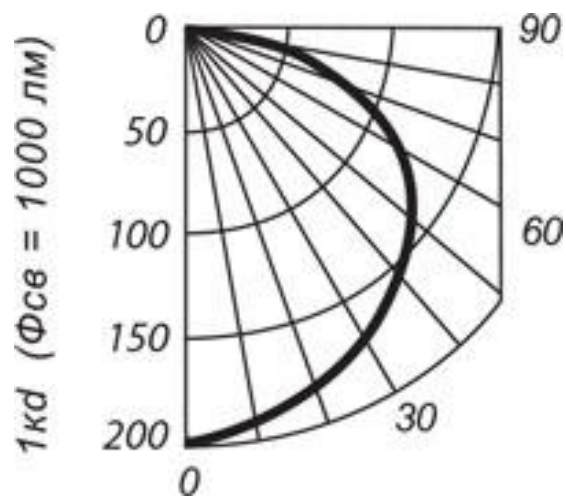


Рисунок 2 – Кривые силы распределения света

Определяется требуемое количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (2.14)$$

где  $E$  – требуемая горизонтальная освещённость, лк;  $S$  – площадь цеха, м<sup>2</sup>;  $K_3$  – коэффициент запаса;  $\eta$  – коэффициент использования;  $n$  – количество ламп в светильнике;  $\Phi_{\text{л}}$  – световой поток одной лампы.

### 2.3 Расчёт активной и реактивной осветительной нагрузки

$$P_{\text{осв}} = \sum n \cdot P_c ; \quad (2.15)$$

$$P_{\text{р.осв}} = 60,06 \text{ кВт};$$

$$\cos \varphi = 0,85 \Rightarrow \text{tg} \varphi = 0,62 .$$

Полученное значение – расчетная активная осветительная нагрузка. С помощью  $\text{tg} \varphi$  рассчитываем расчётную реактивную нагрузку:

$$Q_{\text{р.осв}} = 60,06 \cdot 0,62 = 37,23 \text{ квар.}$$

Найдём полную рабочую осветительную нагрузку:

$$S_{\text{р.осв}} = \sqrt{60,06^2 + 37,23^2} = 65,93 \text{ кВа.}$$

Находим расчётный ток осветительной нагрузки по формуле 2.11:

$$I_{\text{осв}} = \frac{65,93}{1,73 \cdot 0,4} = 85,2 \text{ А.}$$

## 2.4 Вычисление суммарных электрических нагрузок по корпусу

Определяем суммарные активную и реактивную мощности:

$$P_{\Sigma} = P_P + P_{p.осв}; \quad (2.16)$$

$$P_{\Sigma} = 2557,47 + 60,06 = 2617,535 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = Q_P + Q_{p.осв}; \quad (2.17)$$

$$Q_{\Sigma} = 1803,834 + 37,24 = 1841,07 \text{ квар.}$$

По формуле 2.10 определяем полную суммарную нагрузку:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{2617,53^2 + 1841,07^2} = 3200 \text{ кВА.}$$

Определяем суммарный ток по формуле 2.11:

$$I_{\Sigma} = \frac{3200}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 4619 \text{ А.}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

## 2.5 Монтаж светильников

Монтаж светильников осуществляется путём подвеса светильника к нижнему поясу фермы. Крепление к ферме выполняется с помощью двух металлических профилей, ответвительная коробка крепится к одному из профилей. Сам светильник устанавливается на подвесе на высоте 12.5м, данная высота подвеса обуславливается тем, что в цеху действует передвижной кран. Схема монтажа светильника приведена на рисунке 3.

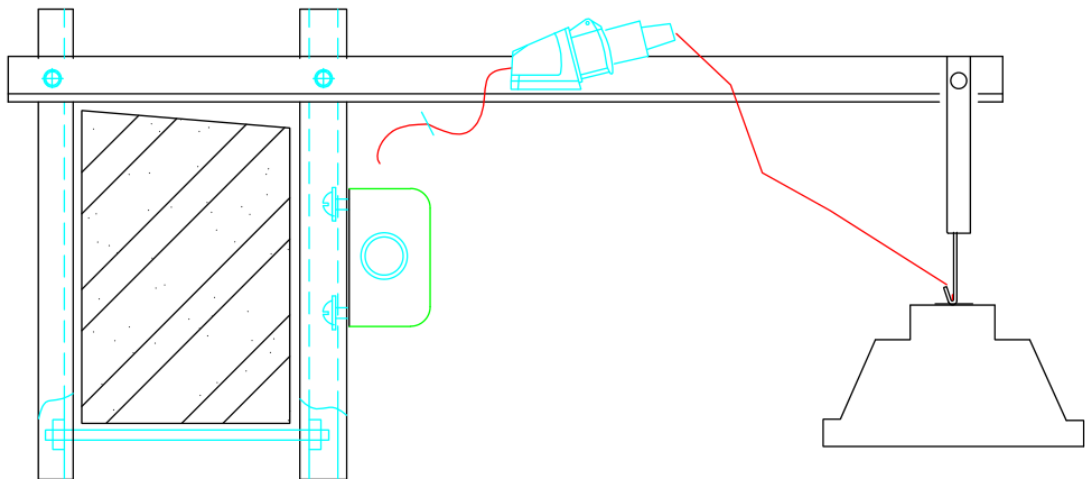


Рисунок 3 – Схема монтажа светильника

Монтаж и эксплуатацию светильника можно осуществлять с помощью крана, но только при условии наличия на кране специальной площадки для монтажников.

Принимая во внимание рекомендации [11], Прокладка лотков для кабелей системы освещения осуществляется на металлическом профиле, закреплённом на нижнем поясе фермы. В соответствии с 2.1.16 ПУЭ прокладка кабелей системы аварийного освещения осуществляется в отдельном лотке. Пример прокладки лотков приведён на рисунке 4.

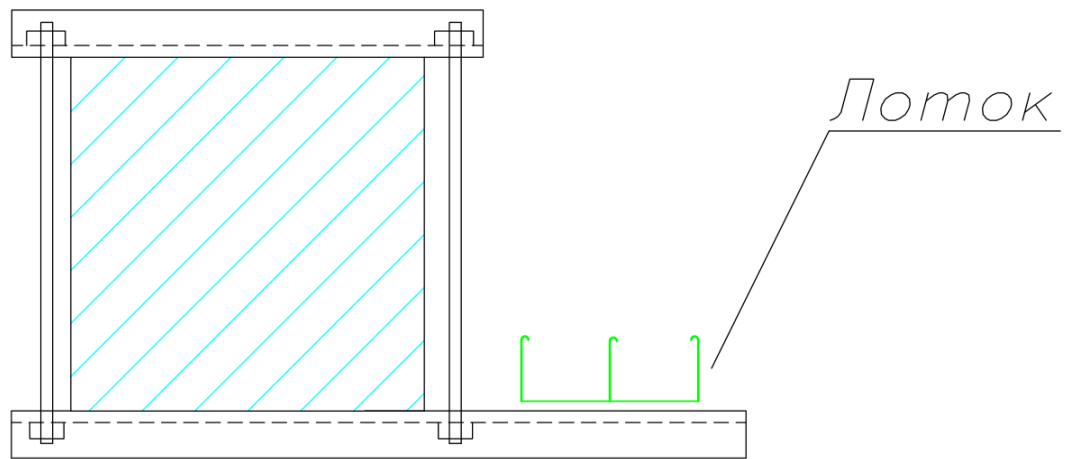


Рисунок 4 – Прокладка лотков



Таблица 2 – Определение расчетной электрической нагрузки

№ п/п	Наименование узла питания или группы электроприёмников	Кол-во ЭП, п	Одно го ЭП $P_H$ , кВт	Всех ЭП $P_H$ , кВт	$K_H$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$m$	$P_{CM}$ , кВт	$Q_{CM}$ , квар	$n_D$	$K_M$	$P_P$ , кВт	$Q_P$ , квар	$S_P$ , кВА	$I_P$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Инструментальный стол	4	5	20	0,06	0,5	1,73	-	1,2	2,07	-	-	-	-	-	-
2	фрезерный станок	1	20	20	0,14	0,5	1,73	-	2,8	4,84	-	-	-	-	-	-
3	токарный станок	1	10	10	0,14	0,5	1,73	-	1,4	2,42	-	-	-	-	-	-
4	фрезерный станок ЧПУ	1	30	30	0,14	0,5	1,73	-	4,2	7,26	-	-	-	-	-	-
5	обрезной станок	1	5	5	0,12	0,4	2,3	-	0,6	1,38	-	-	-	-	-	-
6	радиально-сверлильный станок	1	20	20	0,16	0,5	1,73	-	3,2	5,53	-	-	-	-	-	-
7	электроэрозионный станок	1	50	50	0,14	0,5	1,73	-	7	12,1	-	-	-	-	-	-
8	сварочный участок	1	142	142,5	0,35	0,6	1,33	-	49,875	66,3	-	-	-	-	-	-
9	маркировочный пресс	1	50	50	0,17	0,65	1,17	-	8,5	9,94	-	-	-	-	-	-
10	установка контроля системы охлаждения	1	15	15	0,8	0,8	0,75	-	12	9	-	-	-	-	-	-
11	машина промывки	2	10	20	0,7	0,85	0,62	-	14	8,68	-	-	-	-	-	-
12	шлифовальный станок	1	2	2	0,14	0,5	1,73	-	0,28	0,48	-	-	-	-	-	-
13	Опорный рабочий стол	4	2	8	0,06	0,5	1,73	-	0,48	0,83	-	-	-	-	-	-
14	Печь	1	534	534	0,8	0,95	0,33	-	427,2	140	-	-	-	-	-	-
15	Фильтрустановка	2	54	108	0,5	0,7	1,02	-	54	55	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Наименование узла питания или группы электроприёмников	Кол-во ЭП, п	Одного ЭП РН, кВт	Всех ЭП РН, кВт	КИ	cosφ	tgφ	m	PCM, кВт	QC М, квар	n Э	KM	PP, кВт	QP, квар	SP, кВА	IP, А
16	обрабатывающий центр	8	61	488	0,14	0,5	1,73	-	68,32	118	-	-	-	-	-	-
17	моечная линия	2	86	172	0,7	0,4	2,3	-	120,4	276	-	-	-	-	-	-
18	установка контроля герметичности	2	14	28	0,8	0,8	0,75	-	22,4	16,8	-	-	-	-	-	-
19	кран	1	44	44	0,2	0,7	1,02	-	8,8	8,97	-	-	-	-	-	-
20	установка контроля утечек	1	5	5	0,8	0,8	0,75	-	4	3	-	-	-	-	-	-
21	зарядная станция	1	68	68	0,8	0,7	1,02	-	54,4	55,4	-	-	-	-	-	-
22	машина литья под давлением	4	344	1376	0,5	0,65	1,17	-	688	804	-	-	-	-	-	-
23	плавильная печь	3	20	60	0,8	0,95	0,33	-	48	15,8	-	-	-	-	-	-
24	станция подогрева ковшей	4	2	8	0,95	0,95	0,33	-	7,6	2,58	-	-	-	-	-	-
25	пылесборник	1	20	20	0,5	0,7	1,02	-	10	10,2	-	-	-	-	-	-
	ИТОГО	-	-	-	-	-	-	>3	1618,6	1639	7	1,58	2557,4	1803,8	3129	4517
	Итого с учётом освещения	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2617,5	1841	3200	4619

### 3 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций с учётом компенсации реактивной мощности

#### 3.1 Предварительный расчёт мощности и числа трансформаторов

Поскольку в корпусе находятся 2 ТП, расчёт будет осуществлён по индивидуальной расчётной активной мощности ТП.

Расчётная активная мощность ТП 192:

$$P_{p\Sigma} = 1269,95 \text{ кВт};$$

$$Q_{p\Sigma} = 991,57 \text{ квар};$$

$$S_{p\Sigma} = 1611,16 \text{ кВА}.$$

$$S_{ном} = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_T}; \quad (3.1)$$

$$S_{ном} = \frac{1269,95}{0,8 \cdot 2} = 793,72 \text{ кВА}.$$

Поскольку потребители машиностроительного корпуса относятся к 2 категории надежности электроснабжения, к установке принимаются два трансформатора. Выбор трансформаторов будет осуществлен путём экономического анализа.

Исходя из данных условий принимаем  $K_3 = 0,8$ .

### 3.2.1 Вариант А

Рассмотрим вариант с двумя трансформаторами ТМГ-1000/10/04

По справочнику определяем:

$$\Delta P_{xx} = 1,55 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 10,8 \text{ кВт};$$

$$U_{кз} = 6 \text{ \%};$$

$$S_H = 1000 \text{ кВА};$$

$$i_0 = 1,2 \text{ \%}.$$

Потери в трансформаторе:

$$\Delta P_{T\Sigma} = N_T \cdot (\Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}); \quad (3.2)$$

$$\Delta P_{T\Sigma} = 2 \cdot (0,2 + 0,8^2 \cdot 10,8) = 13,84 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = N_T \cdot (\Delta Q_{xx} + K_3^2 \cdot U_{кз} \cdot \frac{S_H}{100}); \quad (3.3)$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = 2 \cdot (1,3 + 0,8^2 \cdot 6) \cdot \frac{1000}{100} = 102,8 \text{ квар}.$$

где  $N_T$  – количество трансформаторов;  $\Delta P_T$  – потери активной мощности одного трансформатора, кВт;  $\Delta Q_T$  – потери реактивной мощности одного трансформатора, квар.

Определяем расчётную нагрузку корпуса с учётом потерь в трансформаторе:

$$P_P = P_{P\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma}; \quad (3.4)$$

$$P_P = 1269,95 + 13,84 = 1284 \text{ кВт};$$

$$Q_P = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma}; \quad (3.5)$$

$$Q_P = 991,57 + 102,8 = 1094 \text{ квар.}$$

Реактивная мощность в часы минимума нагрузки:

$$Q_{\min} = Q_P \cdot 0,5; \quad (3.6)$$

$$Q_{\min} = 1094 \cdot 0,5 = 547,18 \text{ квар.}$$

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_P - 0,7 \cdot Q_{CD}; \quad (3.7)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 1094 - 0,7 \cdot 0 = 1094 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_P; \quad (3.8)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 1284 = 359,46 \text{ квар,}$$

где  $\alpha = 0,28$ ;  $Q_{CD} = 0$ .

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений:

$$Q_{\text{э1}} = 359,46 \text{ квар.}$$

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{\text{э2}} = Q_{\min} + Q_K; \quad (3.9)$$

$$Q'_{\text{э2}} = 547,18 + 0 = 547,18 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э2}} = Q_{\min} - Q_{KD} = Q_{\min} - Q_P - Q_{\text{э1}}; \quad (3.10)$$

$$Q''_{\text{э2}} = 547,18 - 1094 - 359,46 = -187,72 \text{ квар,}$$

где  $Q_k = 0$ .

Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем большее из значений:

$$Q_{\vartheta 2} = 547,18 \text{ квар.}$$

Определяем суммарную мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot Q_P - Q_{\vartheta 1}; \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot 1094 - 359,46 = 844,34 \text{ квар;}$$

$$Q_{\text{ку. min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\vartheta 2}; \quad (3.12)$$

$$Q_{\text{ку. min}} = 547,18 - 547,18 = 0 \text{ квар.}$$

Все КУ должны быть регулируемые.

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\vartheta 1} - (Q_P - Q_{P\Sigma}); \quad (3.13)$$

$$Q_{\text{эн}} = 359,46 - (1094 - 991,57) = 256,6 \text{ квар.}$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{N_T \cdot K_3 \cdot S_n^2 - P_{P\Sigma}^2}; \quad (3.14)$$

$$Q_T = \sqrt{2 \cdot 0,8 \cdot 1000^2 - 1269,95^2} = 973,56 \text{ квар;}$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1 кВ:

$$Q_{KV.H} = Q_{P\Sigma} - Q_T ; \quad (3.15)$$

$$Q_{KV.H} = 991,57 - 973,25 = 18,32 \text{ квар.}$$

Установка конденсаторной установки не требуется.

Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ:

$$Q_{KV.G} = Q_{ку. \max} - Q_{KV.H} ; \quad (3.16)$$

$$Q_{KV.G} = 844,34 - 18,314 = 724,26 \text{ квар.}$$

Установка КУ на стороне 10 кВ нецелесообразна.

Затраты на установку КТП с трансформатором ТМГ-1000:

$$C = C_0 (\Delta P_{xx} \cdot N_{mp} \cdot T_P + \tau_n \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} \cdot \frac{1}{N_{mp}}) ; \quad (3.17)$$

$$C = 0,87(1,55 \cdot 2 \cdot 8760 + 0,8^2 \cdot 10,5 \cdot 2886 \cdot 0,5) = 32062,07 \text{ тыс.руб.};$$

$C_0$  – удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора;  $C$  – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь;

$$C_0 = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_P ; \quad (3.18)$$

$$C_0 = \left( \frac{441 \cdot 10^{-3}}{4500} + 0,18 \cdot 10^{-5} \right) \cdot 8760 = 0,87 \text{ тыс. руб/кВт}\cdot\text{год,}$$

где  $\alpha$  – основная ставка двухставочного тарифа;;  $\beta$  – дополнительная плата за 1 кВт·час потреблённой электроэнергии;  $T_p$  – время работы трансформатора в году;  $T_M$  – время использования максимальной нагрузки предприятия в год;

$\tau$  – время максимальных потерь.

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_p; \quad (3.19)$$

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886 \text{ ч.}$$

Общие затраты на установку КТП с трансформатором ТМ-1600:

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot (K_{\text{ТП}} \cdot N_T) + C; \quad (3.20)$$

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot 475000 \cdot 2 + 32062,07 \cdot 2 = 170049,14 \text{ руб,}$$

где  $E$  – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложения в КТП;  
 $K_{\text{ТП}}$  – стоимость одной ТП;

### 3.2.2 Вариант Б

Рассмотрим вариант с одним трансформатором ТМГ-1250/10/04

По справочнику определяем:

$$\Delta P_{\text{xx}} = 1,75 \text{ кВт;}$$

$$\Delta P_{\text{кз}} = 14 \text{ кВт;}$$

$$U_{\text{кз}} = 6 \text{ %;}$$

$$S_n = 1250 \text{ кВА;}$$

$$i_0 = 0,9 \text{ %.}$$

Потери в трансформаторе определяем по формулам 3.2 и 3.3:



$$\Delta P_{T\Sigma} = 2 \cdot (0,2 + 0,8^2 \cdot 14) = 18,32 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = 2 \cdot (1,3 + 0,8^2 \cdot 6) \cdot \frac{1250}{100} = 128,5 \text{ квар},$$

где  $N_T$  – количество трансформаторов;  $\Delta P_T$  – потери активной мощности одного трансформатора, кВт;  $\Delta Q_T$  – потери реактивной мощности одного трансформатора, квар.

По формулам 3.4 и 3.5 определяем расчётную нагрузку цеха с учётом потерь в трансформаторе:

$$P_p = 1269,95 + 18,32 = 1288 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 991,57 + 128,5 = 1120 \text{ квар}.$$

Реактивная мощность в часы минимума нагрузки определяется по формуле 3.6:

$$Q_{\min} = 1120 \cdot 0,5 = 560 \text{ квар}.$$

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы (по формулам 3.7, 3.8):

$$Q'_{\text{э1}} = 1120 - 0,7 \cdot 0 = 1120 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 1269,95 = 360,71 \text{ квар},$$

где  $\alpha = 0,28$ ;  $Q_{\text{сд}} = 0$ .

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем наименьшее из значений:

$$Q_{\text{э1}} = 360,71 \text{ квар.}$$

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок (по формулам 3.9, 3.10):

$$Q'_{\text{э2}} = 560 + 0 = 560 \text{ квар};$$
$$Q''_{\text{э2}} = 560 - 1120 - 360,7 = -199,3 \text{ квар.}$$

где  $Q_{\text{к}} = 0$ .

Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем большее из значений:

$$Q_{\text{э2}} = 560 \text{ квар.}$$

Определяем суммарную мощность компенсирующих устройств (по формулам 3.11, 3.12):

$$Q_{\text{ку.max}} = 1,1 \cdot 1120 - 360,7 = 871,3 \text{ квар};$$
$$Q_{\text{ку.min}} = 560 - 560 = 0 \text{ квар.}$$

Все КУ должны быть регулируемые. По формуле 3.13 определяем реактивную мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{\text{эн}} = 360,7 - (1120 - 991,57) = 232,2 \text{ квар.}$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ определяется по формуле 3.14:

$$Q_T = \sqrt{2 \cdot 0,8 \cdot 1250^2 - 1269,95^2} = 1545 \text{ квар.}$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1 кВ определяется по формуле 3.15:

$$Q_{KV.H} = 991,57 - 1545 = -553,5 = 0 \text{ квар.}$$

Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ определяется по формуле 3.16:

$$Q_{KV.с} = 871,36 - 0 = 871,36 \text{ кВар.}$$

Установка КУ на стороне 10 кВ нецелесообразна.

По формуле 3.17 удельную стоимость максимальных активных нагрузочных потерь:

$$C = 0,87 \cdot (2 \cdot 1,75 \cdot 8760 + 14 \cdot 0,8^2 \cdot 2886 \cdot 0,5) = 37892,2 \text{ тыс. руб.}$$

Общие затраты:

$$Z_{КТП} = 0,223 \cdot 670000 \cdot 2 + 37892,2 \cdot 2 = 374604,4 \text{ тыс. руб.}$$

По итогам расчётов можно сделать вывод, два трансформатора ТМГ 1000/10/0,4 - являются наиболее рациональным выбором. Исходя из условий эксплуатации, а так же возможности монтажа выбранную КТП. Выбраны 2 трансформатора ТМГ 1000/10/0,4 производства ЭТК “Русский трансформатор”. Данный трансформатор изображен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Внешний вид ТМГ 1600/10/0,4

### **3.3 Выбор номинальной мощности подстанции 192**

Выбор трансформатора для трансформаторной подстанции 192 был осуществлён по аналогии с выбором для трансформаторной подстанции 193. В итоге к установке принята ТП с двумя трансформаторами ТМГ-1000/10/0,4 производства ЭТК “Русский трансформатор”.

### **3.4 Выбор КТП**

Для ТП 192 и 193 были выбраны КТП-СЭЩ-П. Данные КТП должны быть установлены на заранее подготовленный фундамент в соответствии с техническими условиями [14]. КТП-СЭЩ-П изображена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид КТП-СЭЩ-П

### **3.5 Расчет контура заземления для КТП-СЭЩ-П 1000/10/0,4**

Принимая во внимание, что контур заземления будет монтироваться в грунт с большим удельным сопротивлением 300 Ом·м, что серьезно усложнит

конструкцию, увеличит габариты заземляющего устройства и приведет к невозможности размещения данной конструкции заземления.

В связи с этим необходимо в местах расположения вертикальных и горизонтальных электродов заземления произвести выемку грунта (песок) и засыпку (чернозем).

Нормируемое сопротивление заземляющего устройства  $R_z=4$  Ом

с учетом п.1.7.101 ПУЭ 7-изд, т.к. удельное сопротивление грунта более  $\rho = 1 \cdot 10^4$  Ом·см<sup>3</sup>.

$$R_z = \rho \cdot 0,01 \cdot 4 ; \quad (3.21)$$

$$R_z = 300 \cdot 0,01 \cdot 4 = 12 \text{ Ом},$$

где:  $\rho$  - удельное сопротивление грунта (песок).

Удельное сопротивление засыпемоего грунта (чернозем)  $\rho = 0,6 \cdot 10^4$  Ом·см<sup>3</sup>.

При устройстве заземлений в тяжелых грунтах с грунтом заполнителем, расчетное удельное сопротивление этого грунта определяется по формуле:

$$\rho_{\text{расч}} = \frac{\rho_{\text{гр}}}{K} ; \quad (3.22)$$

$$\rho_{\text{расч}} = \frac{300}{3} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}^3 = 0,1 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^3,$$

где:  $\rho_{\text{гр}}$  - удельное сопротивление грунта (песок), Ом;  $K$  - коэффициент, значение которого для вертикальных заземлителей из угловой стали 50x50x5, длиной 2,5 м при размещении в котлованах радиусом ( $r$ ) 2 м.

Климатическая зона - III. Среднее значение коэффициента сезонности для протяженного заземлителя  $K_p=2$ , для стержневого заземлителя  $K_c=1,4$

Заземляющее устройство выполняется в виде контура из стальной полосы сечением 40x4мм. проложенной на глубине 0,5м вокруг подстанции и стержней

из угловой стали 50x50x5мм, длиной 3м [15]. Общая длина полосы по плану 30м для 5 электродов заземления.

Расстояние между вертикальными заземлителями  $a=5$  м

Сопротивление одиночного стержня составит:

$$R_B = 0,00318 \cdot \rho_{\text{расч}} \cdot K_C \quad (3.23)$$

$$R_B = 0,00318 \cdot 0,1 \cdot 10^4 \cdot 1,4 = 44,5 \text{ Ом},$$

где:  $\rho_{\text{расч}}$  – расчетное удельное сопротивление грунта ( $\text{Ом} \cdot \text{см}^3$ )

Количество стержней - 5 шт.

Из данных справочника [16] коэффициент использования стержней равен  $\eta_B = 0,8$

Сопротивление всех стержней растеканию тока составит:

$$R_C = \frac{R_0}{n \cdot \eta_B}; \quad (3.24)$$

$$R_C = \frac{44,5}{5 \cdot 0,8} = 11,125 \text{ Ом}.$$

Длина протяженного заземлителя (полоса 40x4 мм) составляет 30 м. глубина заложения  $t=50$ см ширина заземлителя  $b=0,4$  см.

Сопротивление протяженного заземлителя равно:

$$R_C = \left( \frac{0,366}{1} \right) \cdot \rho_{\text{расч}} \cdot K_{\text{П}} \cdot \lg \left( 2 \cdot \frac{l^2}{b \cdot t} \right); \quad (3.25)$$

$$R_c = \left( \frac{0,366}{3000} \right) \cdot 1,0 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot \lg \left( 2 \cdot \frac{3000^2}{0,4 \cdot 50} \right) = 14,528 \text{ Ом}.$$

Действительное сопротивление протяженного заземлителя:

$$R_{\Pi} = \frac{R_{\text{пр}}}{\eta_{\text{в}}}; \quad (3.26)$$

$$R_{\Pi} = \frac{14,528}{0,8} = 18,16 \text{ Ом};$$

Сопротивление всего заземляющего устройства:

$$R_{\Pi} = \frac{R_c \cdot R_{\Pi}}{R_c + R_{\Pi}}; \quad (3.27)$$

$$R_{\Pi} = \frac{14,528 \cdot 18,16}{14,528 + 18,16} = 8,07 < 12 \text{ Ом}.$$



#### **4 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения**

Системы электроснабжения разделяют на систему внешнего и систему внутреннего электроснабжения.

Система внешнего электроснабжения данного машиностроительного корпуса выполнена от ГПП в кабельном тоннеле, который проложен под землёй.

Схема внутреннего электроснабжения бывает магистральной, радиальной и смешанной. В данном машиностроительном корпусе все потребители относятся к 2 категории надежности электроснабжения. Поэтому наиболее выгодной является магистральная система электроснабжения, так как магистральная система экономически более выгодна.

## **5 Выбор оборудования внутрицеховой сети**

Для расчёта токов КЗ на разных участках сети внутреннего электроснабжения нужно знать параметры всех элементов сети. Предварительный выбор кабельных линий, автоматов и прочего оборудования делаем по расчётным значениям номинальных токов.

### **5.1 Выбор оборудования внутрицеховой сети с учетом разделения ЭП**

Для выбора электротехнического оборудования необходимо произвести расчет нагрузок с учетом разделения по ЭП. Результаты расчетов снесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет нагрузок с учетом разделения ЭП

	$P_n$ кВт	n	cosφ	Kи	tgφ	m	$P_n$ кВт	$P_{см}$ кВт	$Q_{см}$ квар	nэ	Км	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$S_p$ кВа	$I_p$ А
Печь	534	1	0,95	0,8	0,33		534	427,2	140,976						
Итого															
ШРА 193-1															
Инструментальный стол	5	4	0,5	0,06	1,73		20	1,2	2,076						
фрезерный станок	20	1	0,5	0,14	1,73		20	2,8	4,844						
токарный станок	10	1	0,5	0,14	1,73		10	1,4	2,422						
обрезной станок	5	1	0,4	0,12	2,3		5	0,6	1,38						
радиально-сверлильный станок	20	1	0,5	0,16	1,73		20	3,2	5,536						
сварочный участок	142,5	1	0,6	0,35	1,33		142,5	49,875	66,33375						
установка контроля системы охлаждения	15	1	0,8	0,8	0,75		15	12	9						
машина промывки	10	2	0,85	0,7	0,62		20	14	8,68						
шлифовальный станок	2	1	0,5	0,14	1,73		2	0,28	0,4844						
Опорный рабочий стол	2	4	0,5	0,06	1,73	>3	8	0,48	0,8304						
Итого					1,43			85,835	101,5866	3	2,28	195,7038	111,7452	225,3	325,24
ШРА 193-2															
фрезерный станок ЧПУ	30	1	0,5	0,14	1,73		30	4,2	7,266						
электроэрозионный станок	50	1	0,5	0,14	1,73		50	7	12,11						
маркировочный пресс	50	1	0,65	0,17	1,17		50	8,5	9,945						
кран	44	2	0,7	0,2	1,02		88	17,6	17,952						
Итого				0,65				37,3	47,273	4	3,11	116,003	52,0003	127,12	183,48
ШМА 193-1															
машина литья под давлением	344	2	0,65	0,5	1,17		688	344	402,48						
итого тп 193							1702,5	894,335	692,3156	9	1,2	1073,202	761,5471	1315,9	1899,3

Продолжение таблицы 3

	$P_n$ , кВт	n	cosφ	Ки	tgφ	m	$P_n$ , кВт	$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар	nэ	Км	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВа	$I_p$ , А
ШМА 192-1 обрабатывающий центр	61	8	0,5	0,14	1,73		488	68,32	118,1936						
Итого								68,32	118,1936	3	2,28	155,7696	130,013	337,79	487,56
ШМА 192-2 моечная линия	86	2	0,4	0,7	2,3		172	120,4	276,92						
установка контроля герметичности	14	2	0,8	0,8	0,75		28	22,4	16,8						
установка контроля утечек	5	1	0,8	0,8	0,75		5	4	3						
Итого								146,8	296,72	3	2,28	334,704	326,392	467,5	674,7
ШРА 192-2 плавильная печь	20	3	0,95	0,8	0,33		60	48	15,84						
станция подогрева ковшей	2	4	0,95	0,95	0,33		8	7,6	2,508						
пылесборник	20	1	0,7	0,5	1,02		20	10	10,2						
зарядная станция	68	1	0,7	0,8	1,02		68	54,4	55,488						
Итого								120	84,036	3	2,28	273,6	92,4396	280,32	404,6
ШМА 192-2 машина литья под давлением	344	2	0,65	0,5	1,17		688	344	402,48						
итого тп 192								679,12	901,4296	4	1,87	1269,954	991,5726	1611,16	2325,51

### 5.1.1 Выбор кабельных линий

Для запитки электрооборудования машиностроительного корпуса от ТП в соответствии с ПУЭ ст 2.1.17 выбираем кабели марки ВВГ(а)-LS [19]. Сечение проводников выбираем исходя из расчётных значений токов ЭП, по условию нагрева согласно ПУЭ.

По данным таблицы 2 определяем:

От ГПП до ТП 192:

$$I_p = 112,9 \text{ А.}$$

Выбираем кабель АПВВнг(В)-LS – 3х70+1х35;

От ГПП до ТП 193:

$$I_p = 72,35 \text{ А.}$$

Выбираем кабель АПВВнг(В)-LS – 3х35+1х25;

Для каждого типа ЭП, исходя из данных таблицы 1, находим номинальный рабочий ток:

Для трехфазных электроприемников:

$$I_n = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \phi} .$$

Список выбранных кабелей представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор кабелей

	Сечение кабеля, мм <sup>2</sup>	Номинальный рабочий ток, А
от ТП до печи	2 кабеля ВВГ 4x185	851,67
Инструментальный стол	ВВГ 5x2,5	15,15152
Фрезерный станок	ВВГ 4x16	60,60606
Токарный станок	ВВГ 5x6	30,30303
Фрезерный станок ЧПУ	ВВГ 3x25+1x16	90,90909
Обрезной станок	ВВГ 5x2,5	18,93939
Радиально-сверлильный станок	ВВГ 4x16	60,60606
Электроэрозионный станок	ВВГ 3x70+1x35	151,5152
Сварочный участок	ВВГ 3x150+1x16	359,8485
Маркировочный пресс	ВВГ 3x35+1x25	116,5501
Установка контроля системы охлаждения	ВВГ 5x4	28,40909
Машина промывки	ВВГ 5x2,5	17,82531
Шлифовальный станок	ВВГ 5x1,5	6,060606

Продолжение таблицы 4

Опорный рабочий стол	ВВГ 5x1,5	6,060606
Фильтрстановка	ВВГ 3x35+1x25	116,8831
Обрабатывающий центр	ВВГ 3x95+1x50	184,8485
Моечная линия	ВВГ 3x150+1x90	325,7576
Установка контроля герметичности	ВВГ 5x4	26,51515
Кран	ВВГ 5x1,5	95,2381
Установка контроля утечек	ВВГ 5x1,5	9,469697
Зарядная станция	ВВГ 3x70+1x30	147,1861
Машина литья под давлением	2 кабеля ВВГ 3x240	801,8648
Плавильная печь	ВВГ 5x6	31,89793
Станция подогрева ковшей	ВВГ 5x1,5	3,189793
Пылесборник	ВВГ 5x10	43,29004

### 5.1.2 Выбор шинопроводов

Для внутризаводского электроснабжения были выбраны шинопроводы серии ШМА 4 производства ОАО “СОЭМИ”. Данный шинопровод соответствует условиям пожарной безопасности[20] . Список выбранного оборудования представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор шинопроводов

№ шинопровода	Тип шинопровода	Номинальный рабочий ток, А
ШРА193-1	ШРА5-400	325,24
ШРА193-2	ШРА5-250	183,48
ШМА193-1	ШМА5-2000	1527
ШРА192-1	ШРА5-630	487,56
ШМА192-1	ШМА5-1000	674,7
ШРА192-2	ШРА5-630	404,6
ШМА192-1	ШМА5-2000	1527

### 5.1.3 Выбор автоматических выключателей

Для установки в КТП-СЭС-П, в соответствии с техническими условиями[14], выбраны автоматические выключатели ВА-СЭЩ LBA производства ЗАО “Электроцит”. Изображение автоматического выключателя ВА-СЭЩ LBA представлено на рисунке 6





Рисунок 6 – Внешний вид ВА-СЭЩ LBA

Для защиты ЭП выбраны автоматические выключатели производства компании “Schneider Electric”. В соответствии с [17] данные автоматические выключатели удовлетворяют условиям пожаробезопасности, так же могут монтироваться в ответвительную секцию шинпровода ШМА 4. Список выбранных автоматических выключателей представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор автоматических выключателей

Защищаемая линия или электрооборудование	Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А
от ТП до печи	ВА-СЭЩ LBA 1000А	1000
от ТП до ШРА193-1	ВА-СЭЩ TS 400А	400

Продолжение таблицы 6

от ТП до ШРА193-2	ВА-СЭЩ TS 250А	250
от ТП до ШМА193-1	ВА-СЭЩ LBA 2000А	2000
от ТП до ШРА192-1	ВА-СЭЩ TS 630А	630
от ТП до ШМА192-1	ВА-СЭЩ LBA 800А	800
от ТП до ШРА192-2	ВА-СЭЩ TS 630А	630
от ТП до ШМА192-1	ВА-СЭЩ LBA 2000А	2000
Инструментальный стол	EASY 9 3П 16А	16
фрезерный станок	EASY 9 3П 63А	63
токарный станок	EASY 9 3П 32А	32
фрезерный станок ЧПУ	Compact NSX100	100
обрезной станок	EASY 9 3П 20А	20
радиально-сверлильный станок	EASY 9 3П 63А	63
электроэрозионный станок	Compact NSX160	160
сварочный участок	Compact NSX400	400
маркировочный пресс	Compact NSX160	160
установка контроля системы охлаждения	EASY 9 3П 32А	32

Продолжение таблицы 6

машина промывки	EASY 9 3П 20А	20
шлифовальный станок	EASY 9 3П 10А	10
Опорный рабочий стол	EASY 9 3П 10А	10
Фильтрустановка	Compact NSX160	160
обрабатывающий центр	Compact NSX250	250
моечная линия	Compact NSX400	400
установка контроля герметичности	EASY 9 3П 32А	32
кран	Compact NSX100	100
установка контроля утечек	EASY 9 3П 10А	10
зарядная станция	Compact NSX160	160
машина литья под давлением	EASY 9 3П 32А	32
плавильная печь	Compact NSX100	100
станция подогрева ковшей	EASY 9 3П 10А	10
пылесборник	Compact NSX160	160

## 5.2 Выбор измерительного трансформатора тока

В качестве измерительного трансформатора тока был выбран трансформатор фирмы “IEK”[18]. Данный трансформатор легко монтируется на шину, а так же имеет возможность пломбирования крышки клемных зажимов вторичной обмотки, что не позволяет осуществить несанкционированный доступ к вторичной обмотке. Трансформатор тока серии ТТИ-100 изображен на рисунке 7

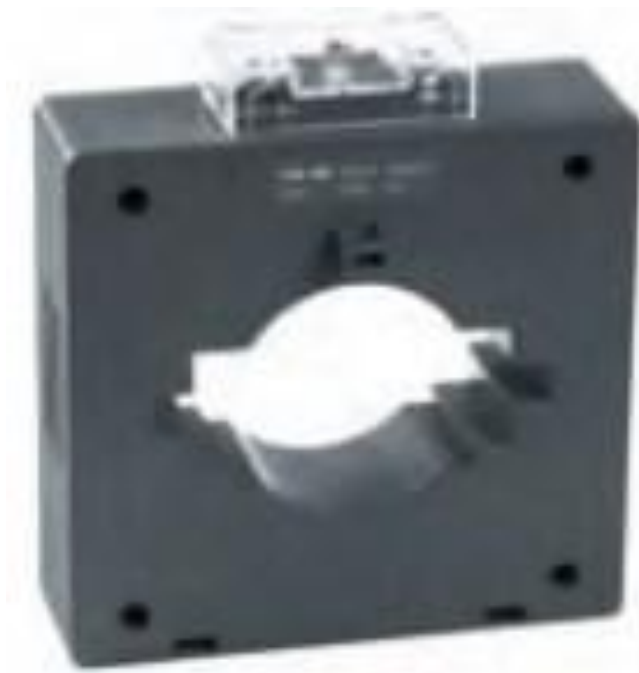


Рисунок 7 – Внешний вид ТТИ-100

Список выбранных трансформаторов тока представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор трансформаторов тока

	Тип ТТ	Класс точности	Номинальный первичный ток, А	Номинальный вторичный ток, А
от ТП до печи	ТТИ-100 1000/5	0,5	1000	5
от ТП до ШРА193-1	ТТИ-А 400/5	0,5	400	5
от ТП до ШРА193-2	ТТИ-А 250/5	0,5	250	5
от ТП до ШМА193-1	ТТИ-100 2000/5	0,5	2000	5
от ТП до ШРА192-1	ТТИ-А 800/5	0,5	800	5
от ТП до ШМА192-1	ТТИ-А 800/5	0,5	800	5
от ТП до ШРА192-2	ТТИ-А 800/5	0,5	800	5
от ТП до ШМА192-1	ТТИ-100 2000/5	0,5	2000	5

## **6 Расчёт токов короткого замыкания**

Из-за возникновения в электрических установках коротких замыканий , сопровождающиеся резким увеличением тока, появляется необходимость защиты оборудования от токов короткого замыкания. Защитное оборудование должно быть выбрано с учётом возможности отключения повреждённой сети а так же сохранения работоспособности после прохождения токов КЗ.

Основной причиной возникновения токов короткого замыкания в электрической сети является повреждение изоляции токоведущих частей электрических установок, а так же не соблюдение техники безопасности обслуживающим персоналом.

В современных мощных электроустановках ударные токи короткого замыкания достигают очень больших значений. Возникающие при этом механические усилия между отдельными токоведущими частями машин, аппаратов и элементов распределительных устройств способны вызвать значительные повреждения.

Поэтому, для надёжной работы электрической установки все её элементы должны обладать достаточной устойчивостью против этих максимальных механических усилий при возникновении ударного тока.

Расчёты выполняются в соответствии с методикой, рекомендованной ГОСТом 28249 – 93 на расчёты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ. Короткие замыкания рассчитываются в двух точках согласно схеме, изображённой на рисунке 8 :

К1 - на шинах РУ 0,4 кВ;

К2 - для самого мощного электроприёмника из ближайших к ТП.

## 6.1 Параметры расчётной схемы:

Трансформатор Т1:

ТМГ - 1000; схема соединения обмоток  $Y/Y_H$ ;

$$S_n = 1000 \text{ кВА};$$

$$U_{H BH} = 10 \text{ кВ}; \quad U_{H HH} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_K = 5,5 \text{ \%};$$

$$R_T = 2,5 \text{ мОм};$$

$$X_T = 5,41 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ1:

$$R_{AB1} = 0,1 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 0,05 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ2:

$$R_{AB2} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$X_{AB2} = 0,1 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ 1:

кабель АПВВнг(В)-LS – 3x35+1x25;

$$l = 250 \text{ м};$$

$$R_{уд} = 0,078 \text{ мОм/м};$$

$$X_{уд} = 0,0587 \text{ мОм/м};$$

$$R_{КЛ1} = 0,078 \cdot 250 = 19,5 \text{ мОм};$$

$$X_{КЛ1} = 0,0587 \cdot 250 = 14,67 \text{ мОм.}$$

Кабельная линия КЛ 2:

2 кабеля ВВГ4х185;

$$l = 10 \text{ м;}$$

$$R_{уд} = 0,103 \text{ мОм/м;}$$

$$X_{уд} = 0,0596 \text{ мОм/м;}$$

$$R_{КЛ1} = \frac{0,103 \cdot 10}{2} = 0,515 \text{ мОм;}$$

$$X_{КЛ1} = \frac{0,059 \cdot 10}{2} = 0,295 \text{ мОм.}$$

Трансформатор тока ТТ1:

$$R_{ТТ1} = 0,42 \text{ мОм;}$$

$$X_{ТТ1} = 0,67 \text{ мОм.}$$

## 6.2 Расчёт токов КЗ

На рисунках 8 и 9 соответственно приведены электрическая схема и схема замещения для расчётов токов КЗ на разных участках сети.



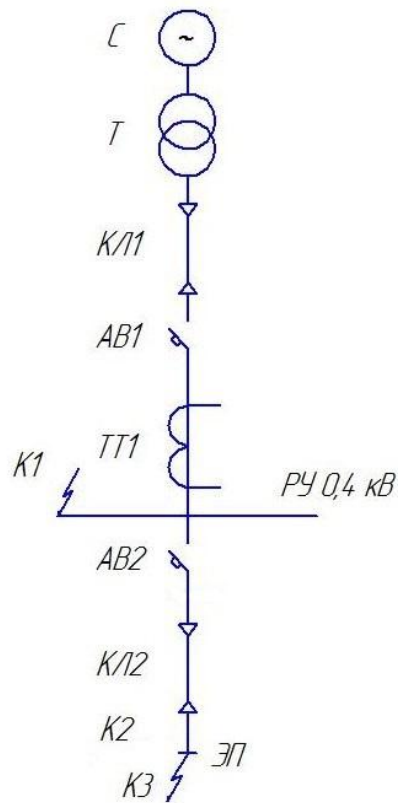


Рисунок 8 – Расчётная электрическая схема

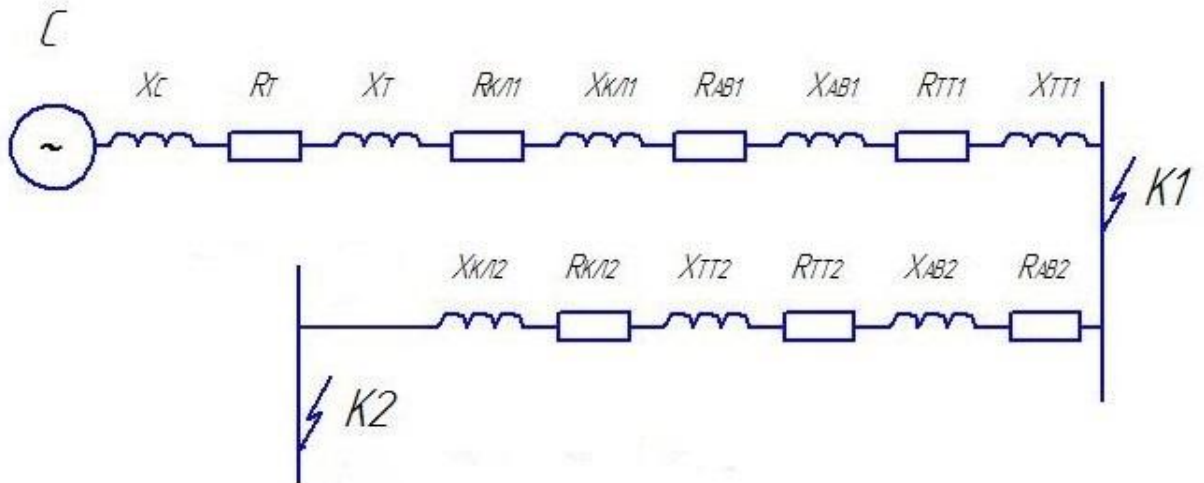


Рисунок 9 – Схема замещения

**K1:**

$$R_{\Sigma K1} = R_T + R_{AB} + R_{TT1} + R_{KJ1}; \quad (6.1)$$

$$R_{\Sigma K1} = 22,52 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_T + X_{AB} + X_{TT1}; \quad (6.2)$$

$$X_{\Sigma K1} = 20,8 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}; \quad (6.3)$$

$$Z_{\Sigma K1} = 30,65 \text{ мОм}.$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{HHH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}}; \quad (6.4)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 30,65} = 7,53 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K1}}{R_{\Sigma K1}} = 0,92 \Rightarrow K_{yK1} = 0,5; \quad (6.8)$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_{yK1} \cdot I_{K1}^{(3)}; \quad (6.9)$$

$$i_{y.K1} = \sqrt{2} \cdot 0,5 \cdot 7,53 = 5,32 \text{ кА}.$$

**K2:**

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{AB2} + R_{KJ2}; \quad (6.10)$$

$$R_{\Sigma K2} = 23,285 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{AB2} + X_{KJ2}; \quad (6.11)$$

$$X_{\Sigma K2} = 21,195 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma R2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2}; \quad (6.12)$$

$$Z_{\Sigma R2} = 31,48 \text{ МОм.}$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}}; \quad (6.13)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 31,48} = 7,33 \text{ кА.}$$

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K2}}{R_{\Sigma K2}} = 0,91 \Rightarrow K_{yK2} = 0,5; \quad (6.17)$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{yK2} \cdot I_{K2}^{(3)}; \quad (6.18)$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot 0,5 \cdot 7,33 = 5,18 \text{ кА.}$$

### 6.3 Проверка оборудования

По расчётным ударным токам КЗ в выбранных трёх точках проверяем пригодность автоматических выключателей.

По ударному току КЗ точки К1 проверяем выключатели ВА-СЭЩ. Автоматические выключатели данного типа рассчитаны на ударные токи до 65 кА и, следовательно, выбраны верно.

$$K1: \quad i_{yK1} = 5,32 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 65 \text{ кА};$$

По ударному току КЗ точки К2 проверяем выключатели ВА-СЭЩ. Автоматические выключатели данного типа рассчитаны на ударные токи до 65 кА и, следовательно, выбраны верно.

$$K2: \quad i_{yK2} = 5,18 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 65 \text{ кА.}$$

## Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы была реконструирована система электрооборудования и электрохозяйства машиностроительного корпуса.

К установке были приняты 2 ТП марки КТП-СЭЩ-П. Исходя из расчетной мощности трансформатора и экономической целесообразности, в ТП 193 были установлены два трансформатора ТМГ 1000/10/0,4. В ТП 192 были установлены 2 трансформатора ТМГ 1000/10/0,4. Был произведён расчет контура заземления, необходимого для защиты КТП.

Для запитки электрооборудования машиностроительного корпуса от ТП были выбраны кабели марки ВВГ(а)-LS.

Выбраны новые шинопроводы, а также защитная и измерительная аппаратура.

Произведен расчет токов короткого замыкания, выполненный в соответствии с методикой рекомендованной ГОСТом 28249-93 на сеть напряжением до 1 кВ.

Был произведён расчёт токов КЗ в двух точках системы: на шинах РУ 0,4 кВ, на вводах самого мощного из самых близких к ТП электроприёмников.

Рассчитаны ударные токи КЗ:  $i_{yK1} = 5,32$  кА;  $i_{yK2} = 5,18$  кА. Полученные данные были сравнены с паспортными данными автоматов, все автоматы были подобраны правильно.

## Список использованных источников

1. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти : ТГУ, 2007.
2. Вахнина, В.В. Проектирование осветительных установок : учебное пособие / В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. – Тольятти : ТГУ, 2008.
3. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий : учебное пособие/ В.В. Вахнина, В.Л. Горячева, Ю.В. Стёпкина. – Тольятти : ТГУ, 2004.
4. Кабышев, А.В. Электроснабжение объектов: учебное пособие / А.В.Кабышев. – Томск: ТПУ, 2009.
5. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие / В.В. Вахнина. – Тольятти : ТГУ, 2006.
6. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7 нормы [Текст]. – Введ. 2003 – 01 – 01. – М. : ЗАО «Энергосервис», 1998. – 980 с.
7. Light Distribution Curves-<http://www.archtoolbox.com/materials-systems/electrical/readlightdistributiondiagram.html>[Text](дата обращения23.03.16)
8. Recommended Lighting Levels in Buildings-<http://www.archtoolbox.com/materials-systems/electrical/recommended-lighting-levels-in-buildings.html>[Text] (дата обращения23.03.16)
9. Electrical Power Systems in Building<http://www.archtoolbox.com/materialssystems/electrical/electrical-power-systems.html>[Text] (дата обращения 23.03.16)
10. Guidelines For Installing Power Transformers <http://electrical-engineering-portal.com/guidelines-for-installing-power-transformers>[Text](дата обращения23.03.16)
11. Electrical Conduit Types-<http://www.archtoolbox.com/materials-systems/electrical/electrical-conduit-types.html>[Text] (дата обращения23.03.16)

12. Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок, шифр М788-1069/ ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1990г.
13. ВА-СЭЩ ЛВА [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель ЗАО “Группа компаний “ЭЛЕКТРОЦИТ” ТМ Самара”, 2016. – 242 с.
14. Комплексные трансформаторные подстанции промышленные напряжением до 10 кВ в модуле электротехнических блоков[Текст] Техническая информация ТИ-090-2009 : разработчик и изготовитель ЗАО “Группа компаний “ЭЛЕКТРОЦИТ” ТМ Самара”, 2009. – 33 с.
15. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок/ Сибикин Ю.Д. , Сибикин М.Ю. – Москва, 2014г.
16. Наумов, И.В. Расчет и выбор оборудования районных трансформаторных подстанций: учебное пособие/ И.В Наумов, Т.Б.Лещинская, Д.А.Иванов– Иркутск:Иркутск.гос.сельхоз.акад.,2012–95 с.
17. Acti 9 [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Schneider Electric – М., 2016. – 426 с.
18. Каталог трансформаторов тока ТТИ [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель ИЕК , 2016. – 9 с.
19. Самарская кабельная компания. Каталог продукции [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Самарская кабельная компания , 2016. – 76 с.
20. Шинопровод магистральный ШМА4 1250-4000 А: каталог : разработчик и изготовитель СОЭМИ, 2016. – 48 с.