

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

Институт энергетики и электротехники  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование кафедры)

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

Электроснабжение  
(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Разработка системы электроснабжения малого предприятия по  
металлообработке изделий»

Студент

М.А. Бессонов

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Руководитель

В.И. Платов

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Консультанты

О.А. Парфенова

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

**Допустить к защите**

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

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

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Тольятти 2018

## **Аннотация**

Тема данной бакалаврской работы разработка системы электроснабжения малого предприятия по металлообработке изделий.

В общей части проекта освещены вопросы электрических нагрузок, выбора количества и мощности силовых трансформаторов, промышленной безопасности и экологии.

Для того, чтобы создать надежную систему электроснабжения был произведен тщательный анализ предполагаемого электрооборудования с учетом освещения. Исходя из данных, полученных при анализе, был произведен расчет общих электрических нагрузок предприятия. По максимально полученной мощности и применяя метод сравнения был выбран силовой трансформатор, который удовлетворяет все потребности по качеству и надёжности электричества. Для того, чтобы связать всё предприятие единой цепью были рассчитаны и выбраны кабели для всех распределительных пунктов, и электроприемников. А для защиты кабелей и электрооборудования от токов короткого замыкания были приняты для установки автоматические выключатели во всех линиях цепи.

Данная бакалаврская работа состоит из пояснительной записки на 51 стр, введения на 1 стр, включая 5 рисунков, 9 таблиц, списка из 20 источников, в том числе 5 источников на иностранном языке, и чертежей на 6 листах формата А1.

## **ABSTRACT**

The title of the given graduation work “Development of power supply system for a small metalworking enterprise”.

The issues of electrical loads, the choice of the number and power of power transformers, industrial safety and ecology are highlighted in the project’s general part.

In order to create a reliable power supply system, a thorough analysis of the proposed electrical equipment was made taking into account the lighting. Based on the data obtained in the analysis, the calculation of the total electrical loads of the enterprise was made. According to the maximum received power and using the method of comparison, a power transformer was chosen which meets all the needs for quality and commitment of electricity. In order to connect the whole enterprise with a single chain, cables for all distribution points and electric receivers were calculated and selected. And to protect cables and electrical equipment from short-circuit currents, automatic switches in all lines of the circuit were adopted for installation.

The graduation work consists of an explanatory note on 51 pages, introduction, including 5 figures, 9 tables, the list of 20 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

## Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика проектируемого объекта.....	6
1.1 Общая характеристика объекта.....	6
1.2 Характеристика электрооборудования объекта.....	7
1.3 Источники ЭЭ.....	8
2 Расчет электрических нагрузок объекта.....	9
2.1 Приведение электроприемников к трехфазному долговременному режиму работы.....	9
2.2 Расчет электрических нагрузок освещения.....	10
2.3 Общая характеристика электрических нагрузок.....	11
3 Разработка предложений по электроснабжению объекта .....	17
3.1 Выбор Трансформаторной подстанции.....	17
3.1.1 Вариант с одно трансформаторной КТП.....	18
3.1.2 Вариант с двухтрансформаторной КТП.....	23
3.1.3 Экономическое сравнение трансформаторов.....	27
3.2 Выбор кабелей и аппаратов защиты.....	29
3.2.1 Выбор защитной аппаратуры.....	29
3.2.2 Выбор проводника ВЛ ГПП-ШВН ТП.....	32
3.2.3 Выбор распределительного шинопровода.....	33
3.2.4 Выбор кабельных линий.....	33
3.3 Расчет токов короткого замыкания.....	36
3.3.1 Расчет параметров схемы замещения.....	37
3.3.2 Расчет токов КЗ.....	42
3.4 Обеспечение безопасности жизнедеятельности.....	47
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	51

## Введение

Энергетика нашей страны должна обеспечивать надежное электроснабжение различных предприятий, которые занимаются выпуском разнообразной продукции. Основными потребителями электроэнергии являются промышленные предприятия, коммунальное и сельское хозяйство. Но промышленные предприятия выделяются, так как на их электроснабжение расходуется более 70% всей электроэнергии.

Электричество используется абсолютно во всех направлениях предприятий. В основном для электроприводов различных механизмов, а также для разнообразных технологических процессов, в частности электро-звуковая и электроискровая обработка, для всех видов сварки и электротермических установок.

Огромную часть электроприемников составляют электроприводы промышленных механизмов, используемые в различных отраслях промышленного хозяйства: Тельферы, насосы, вентиляторы и компрессоры.

Для обеспечения качественной электроэнергии в структуре энергосистемы существует подстанции разного уровня в сетях напряжением до 1000 В и выше.

При выполнении выпускной квалификационной работы главной задачей было разработать надежную систему электроснабжения, отвечающую всем современным стандартам.

# 1 Характеристика проектируемого объекта

## 1.1 Общая характеристика объекта

Объект проектирования представляет собой металлообрабатывающее предприятие, находящееся по адресу г. Саратов, Ленинский район, ул. Парфенова 1Б, находящееся на стадии строительства.

На данном предприятии планируется производство деталей по заказу как для оптовой, так и для розничной продажи. В нем предусматривается наличие производственных, служебных, вспомогательных и бытовых помещений. Электрооборудование предприятия относится ко второй и третьей категории надежности электроснабжения. Так же предположительно количество рабочих смен три.

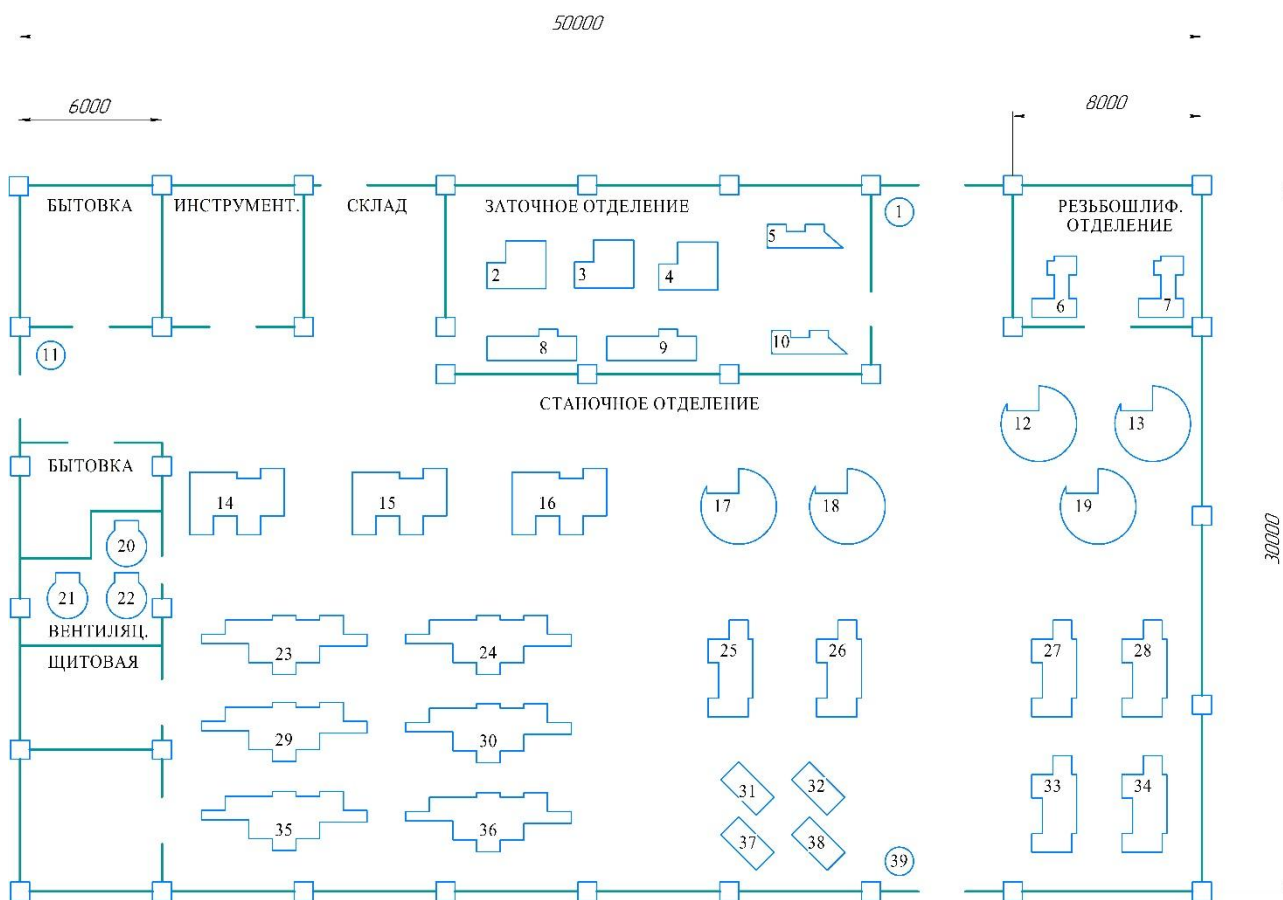


Рисунок 1 – план предприятия

Размеры здания предприятия АхВхН=50х30х8м. Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 3.6 м.

## 1.2 Характеристика электрооборудования объекта

Различные металлообрабатывающие станки расположены в соответствии с рисунком 1 в станочном, заточном и Резьбошлифовальные отделениях. Так как производство не планирует работы с большими и тяжелыми деталями, транспортировка по предприятию будет выполняться наземными электро-тележками. Перечень электроприемников представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Электроприемники

Наименование электроприемников	Рпасп, кВт	Кол-во
<b>3-фазный ДР</b>		
Универсальный заточный станок	15	3
Заточный станок для червячных фрез	6	2
Резьбошлифовальный станок	4,5	2
Заточный станок для фрезерных головок	3,7	2
Круглошлифовальный станок	9,6	5
Токарный станок	5,5	3
Вентилятор	10	3
Плоскошлифовальный станок	12	6
Внутришлифовальный станок	8	5
Заточный станок	2,8	4
<b>1-фазный ПКР</b>		
Электропривод раздвижных ворот	4	3

### **1.3 Источники ЭЭ**

Электроснабжение оборудования производства осуществляется от трансформаторной подстанции, расположенной внутри здания предприятия. Трансформаторная подстанция подключена к Главной понизительной подстанции, расположенной на расстоянии 1,3 км от предприятия. Подводимое напряжение составляет 10 кВ. Главная понизительная подстанция подключена к энергосистеме, расположенной на расстоянии 15 км.



## 2 Расчет электрических нагрузок объекта

При создании надежной системы электроснабжения основным этапом считается расчет электрических нагрузок и сведение их в сводную ведомость.

Неполная загрузка мощности электроприемников обуславливается разновременностью их работы и особенности труда рабочего персонала. В следствии чего при расчетах номинальная мощность электроприемников значительно больше, чем максимально расчетная мощность, потребляемая этими приемниками [14].

Для определения расчетных нагрузок наиболее часто используется метод упорядоченных диаграмм.

### 2.1 Приведение электроприемников к трехфазному долговременному режиму работы

Приведем нагрузку 1-фазного ПКР к длительному режиму [14]. (Расчет для электроприводов раздвижных ворот, два из которых присоединяются к РП, а третий – к ШРМ, аналогичен). «Приведем пример для расчета для приемника:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{п}} \overline{\text{ПВ}}, \quad (2.1)$$
$$P_{\text{ном}} = 4 \cdot \overline{0,25} = 2 \text{ кВт};$$
$$P_{\text{А}} = P_{\text{ф.нб}} = 2 \text{ кВт}$$
$$P_{\text{В}} = P_{\text{С}} = P_{\text{ф.наим.}} = 0 \text{ кВт}$$

Где  $P_{\text{п}}$  – паспортная активная мощность, кВт;

$\overline{\text{ПВ}}$  – продолжительность включения;

$P_{\text{ф.нб}}$  – мощность наиболее загруженной фазы, кВт;

$P_{\text{ф.наим.}}$  – мощность наименее загруженной фазы, кВт;»[20].

Определим неравномерность распределения нагрузки по фазам:

$$H = \frac{P_{\phi.\text{нб}} - P_{\phi.\text{нм}}}{P_{\phi.\text{нм}}} \cdot 10^2, \quad (2.2)$$

$$\frac{2 - 0}{0} \cdot 10^2 = 100\% > 15\%;$$

Следовательно,

$$P_y = 3P_{\phi.\text{нб}}, \quad (2.3)$$

$$2 \cdot 3 = 6 \text{ кВт};$$

## 2.2 Расчет электрических нагрузок освещения

Расчет осветительной нагрузки произведён в программной среде DIALux. Для освещения цеха и вспомогательных помещений, в целях экономии электроэнергии, выбраны светильники, производителя “Световые технологии”, марки ВАТ 258 [16]. Сводная ведомость расчета осветительной нагрузки представлена в таблице 2. Пример расчета освещения для заточного отделения:

«Определяем площадь помещения:

$$S = a \cdot b, \quad (2.4)$$

$$S = 18 \cdot 8,2 = 147,6 \text{ м}^2;$$

Где а -ширина, м;

b – длина, м;

Определяем требуемое количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (2.5)$$

$$N = \frac{300 \cdot 147,6 \cdot 1,5}{0,49 \cdot 2 \cdot 6654} = 11,52 \approx 12;$$

где E – требуемая горизонтальная освещенность, лк;

S – площадь помещения, м;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$U$  – коэффициент использования;

$\Phi_{л}$  – световой поток одной лампы, лм;»[12].

Таблица 2 – Сводная ведомость осветительной нагрузки

Помещение	S, м <sup>2</sup>	h, м	R <sub>н</sub> , кВт	Кол- во	R <sub>н</sub> ∑, Лк	Еср. P., Лк	Еср. Норм., Лк
1	2	3	4	5	6	7	8
Станочное отд.	1006,51	8	0,116	72	8,53	305	300
Заточное отд.	148,56	3,6	0,116	12	1,39	343	300
Резьбошлиф. отд.	59,88	3,6	0,116	6	0,70	379	300
Склад	37,75	3,6	0,116	1	0,12	87	75
Инструментарий	37,48	3,6	0,116	1	0,12	87	75
Бытовка	36,47	3,6	0,116	1	0,12	89	75
Кладовая	16,25	3,6	0,116	1	0,12	147	75
Вентиляционная	46,80	3,6	0,116	1	0,12	74	20
Щитовая	23,29	3,6	0,116	2	0,23	225	150
ТП	36,51	3,6	0,116	1	0,12	89	50
Второй этаж	443,00	3,6	0,116	8	0,93	83	75
Всего	1898.51			118	12,30		

Для освещения всех помещений применяются двухламповые светильники СВ ВАТ 258.

### 2.3 Общая характеристика электрических нагрузок

Пример расчета параметров, приведенных в сводной ведомости для ШРМ согласно ГОСТ Р 50786-2012. [1] (Шинопровод распределительный медный) (для РП (распределительный пункт), и ЩО расчет производился аналогичным образом)

$$m = \frac{P_{\text{н.нб}}}{P_{\text{н.нм}}}, \quad (2.6)$$

$$m = \frac{15}{4} = 4 > 3;$$

«Пример расчета мощности для токарного станка, подключенного к ШРМ:

$$P_{\text{см}} = K_{\text{И}} P_{\text{Н}}, \quad (2.7)$$

$$P_{\text{см}} = 0,2 \cdot 5,5 = 1,1 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{см}} = 1,1 \cdot 1,73 = 1,9 \text{ кВар};$$

Где  $P_{\text{см}}$  – средняя активная мощность за наиболее нагруженную смену, кВт;

$K_{\text{И}}$  – коэффициент использования электроприемников;

$P_{\text{Н}}$  – номинальная активная групповая мощность, приведенная к длительному режиму работы, без учета резервных электроприемников, кВт;

$Q_{\text{см}}$  – средняя реактивная мощность за наиболее нагруженную смену, квар;»[10].

Общая мощность для ШРМ:

$$S_{\text{см}\Sigma} = \sqrt{P_{\text{см}}^2 + Q_{\text{см}}^2}, \quad (2.9)$$

$$S_{\text{см}\Sigma} = \sqrt{40,1^2 + 68^2} = 78,9 \text{ кВА};$$

Где  $S_{\text{см}}$  – максимальная полная нагрузка, кВ·А;

«Общие параметры для ШРМ:

$$K_{\text{и ср.}} = \frac{P_{\text{см}\Sigma}}{P_{\text{Н}\Sigma}}, \quad (2.10)$$

$$K_{и\text{ ср.}} = \frac{40,1}{196,7} = 0,20;$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{см\Sigma}}{S_{см\Sigma}}, \quad (2.11)$$

$$\cos \varphi = \frac{40,1}{78,9} = 0,5;$$

$$tg \varphi = \frac{Q_{см\Sigma}}{P_{см\Sigma}}, \quad (2.12)$$

$$tg \varphi = \frac{68}{40,1} = 1,69;$$

Где  $K_{и\text{ ср.}}$  - средний коэффициент использования группы электроприемников;»[15].

$$n_э = F(n; m; K_{и\text{ ср.}}; P_{и}) = F(25; >3; = 0,2; \text{ переменная})$$

$$n_э = \frac{(2 \cdot \sum_1^{25} \cdot P_{и})}{P_{и\text{ наиб}}}, \quad (2.13)$$

$$n_э = 7,07;$$

$$K_M = F(K_{и\text{ ср.}}; n_э) = F(0,2; 7,07) = 2,1$$

$$P_M = K_M \cdot P_{см}, \quad (2.14)$$

$$P_M = 2,1 \cdot 40,1 = 84,2 \text{ кВар};$$

Где  $K_M$  – коэффициент максимума активной нагрузки;

Так как  $n_э < 10$ , выбираем  $K'_M = 1$

$$Q_M = K'_M \cdot Q_{см}, \quad (2.15)$$

$$Q_M = 68 \text{ кВар};$$

$$S_{см\Sigma} = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \quad (2.16)$$

$$S_{см\Sigma} = \sqrt{84,2^2 + 68^2} = 108,2 \text{ кВА};$$

Где  $Q_M$  – максимальная реактивная нагрузка, квар;

Расчет потерь в трансформаторе:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{M \text{ НН}} , \quad (2.17)$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 214,5 = 4,29 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{M \text{ НН}} , \quad (2.18)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 214,5 = 21,5 \text{ кВА};$$

$$S_{\text{см}\Sigma} = \overline{P_T^2 + Q_T^2}, \quad (2.19)$$

$$S_{\text{см}\Sigma} = \overline{4,29^2 + 21,5^2} = 21,9 \text{ кВА};$$

Рассчитаем ток на РУ:

$$I_{M(X)} = \frac{S_{M(X)}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}}, \quad (2.20)$$

$$I_{M(\text{РП1})} = \frac{72,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 110,46;$$

$$I_{M(\text{РП2})} = \frac{96,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 146,6;$$

$$I_{M(\text{РП3})} = \frac{3,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 5,5;$$

$$I_{M(\text{ШРМ})} = \frac{108,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 163,9;$$

$$I_{M(\text{Щ0})} = \frac{11,66}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 17,7;$$

Результаты расчетов внесены в сводную ведомость нагрузок по цеху[3]  
(таблица 3).

Сводная ведомость нагрузок по цеху

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену						Нагрузка максимальная			
	$P_n$ , кВт	n	$P_n \Sigma$ , кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$Tg \varphi$	m	$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар	$S_{см}$ , кВ*А	nэ	$K_m$	$K'_m$	$P_m$ , кВт	$Q_m$ , квар	$S_m$ , кВА	$I_m$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
РП1																	
Универсальный заточный станок	15	3	45	0,2	0,50	1,73		9	15,57								
Заточный станок для фрезерных головок	3,7	2	7,4	0,2	0,50	1,73		1,48	2,56								
Заточный станок для червячных фрез	6	2	12	0,2	0,50	1,73		2,4	4,2								
Электропривод раздвижных ворот	4	1	4	0,1	0,75	0,88		0,4	0,35								
ВСЕГО по РП1	—	8	68,4	0,19	0,51	1,69	>3	13,28	22,37	26	—	—	1,1	13,28	24,61	28	42,4
РП2																	
Электропривод раздвижных ворот	4	1	4	0,1	0,75	0,88		0,4	0,35								
Вентилятор	10	3	30	0,7	0,80	1,51	—	21	31,71								

ВСЕГО по РП2	—	4	34	0,6	0,56	1,49	<3	21,4	32,1	38,6	4	2,64	1,1	56,5	35,3	66,6	100,9
РПЗ																	
Резьбошлифовальные станок	4,5	2	9	0,2	0,50	1,73	—	1,8	3,12	3,6	—	—	—	1,8	3,12	3,6	5,5
ШРМ																	
Токарный станок	5,5	3	16,5	0,2	0,50	1,73		3,3	5,7								
Плоскошлифовальный станок	12	6	72	0,2	0,50	1,73		14,4	24,9								
Кругло шлифовальный станок	9,6	5	48	0,2	0,50	1,73		9,6	16,6								
Внутришлифовальный станок	8	6	48	0,2	0,50	1,73		9,6	16,6								
Заточный станок	2,8	4	8,2	0,2	0,50	1,73		2,24	3,88								
Электропривод раздвижных ворот	4	1	4	0,1	0,75	0,88		0,8	0,35								
ВСЕГО по ШРМ	—	25	196,7	0,20	0,50	1,69	>3	40,1	68	78,9	7	2,1	1	84,2	68	108,2	163,9
ОУ с ЛЛ	-	-	12,30	0,90	0,95	0,33	-	11,1	3,65	11,7	-	-	-	11,1	3,65	11,66	17,7
Всего на ШНН								82,12	116,3	148	-	-	-	165,1	131,6	211,1	-
Потери														4,29	21,45	21,9	-
Всего на ВН														169,39	153,1	228,3	-



### 3 Разработка предложений по электроснабжению объекта

#### 3.1 Выбор трансформаторной подстанции

Выберем ТП 10/0,4.

Определим расчетную мощность трансформатора с учетом потерь:

$$S_T \geq S_{M(BH)}$$
$$S_{M(BH)} = 228,3 \text{ кВА}$$

Металлообрабатывающее предприятие оборудовано потребителями II и III категорий надежности. Следовательно, питание может осуществляться от однотрансформаторной или двухтрансформаторной подстанции подстанцией (если это будет целесообразно)[2]. Рассмотрим последовательно оба варианта ЭСН и по результатам анализа полученных данных произведем окончательный выбор.

Вариант 1: Один трансформатора ТМФ 250/10/0,4

$$\begin{aligned} R_T &= 9,4 \text{ мОм} & Z_T &= 28,7 \text{ мОм} \\ X_T &= 27,2 \text{ мОм} & Z_T^{(1)} &= 312 \text{ мОм} \\ \Delta P_{XX} &= 0,56 \text{ кВт} & U_{K3} &= 4,5 \% \\ \Delta P_{K3} &= 4,1 \text{ кВт} & i_{XX} &= 1,7 \% \end{aligned}$$

$$K_3 = \frac{S_{HH}}{S_T}, \quad (3.1)$$
$$K_3 = \frac{211}{250} = 0,84;$$

Вариант 2: Два трансформатора ТМГ 160/10/0,4

$$\begin{aligned} R_T &= 16,6 \text{ мОм} & Z_T &= 45 \text{ мОм} \\ X_T &= 41,7 \text{ мОм} & Z_T^{(1)} &= 487 \text{ мОм} \\ \Delta P_{XX} &= 0,44 \text{ кВт} & U_{K3} &= 4,7 \% \\ \Delta P_{K3} &= 2,65 \text{ кВт} & i_{XX} &= 2,4 \% \end{aligned}$$

$$K_3 = \frac{221}{2 \cdot 160} = 0,66;$$

### 3.1.1 Вариант с одноторансформаторной КТП

Рассмотрим первый вариант:

Определим потери в трансформаторе

$$\Delta P_T = N_T \cdot \Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} , \quad (3.2)$$

$$\Delta P_T = 1 \cdot 0,56 + 0,84^2 \cdot 4,1 = 2,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_T = N_T \cdot \Delta I_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} \cdot \frac{S_H}{100}, \quad (3.3)$$

$$\Delta P_T = 1 \cdot 1,7 + 0,84^2 \cdot 4,1 \cdot \frac{250}{100} = 9,1 \text{ квар};$$

Рассчитаем суммарную активную и реактивную мощности с потерями в трансформаторе:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.4)$$

$$P_p = 165,1 + 2,5 = 167,6 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.5)$$

$$Q_p = 131,6 + 9,1 = 140,7 \text{ квар};$$

$Q_{\min}$  определяется по годовому графику. Для цеха металлорежущих станков  $Q_{\min}=45\%$

Рассчитаем реактивную мощность в минимальной нагрузке:

$$Q_{\min} = 45\% \cdot Q_p, \quad (3.6)$$

$$Q_{min} = 45\% \cdot 140,7 = 63,3 \text{ квар};$$

Значения реактивной мощности во время максимальных нагрузок, обоснованных экономически:

$$Q'_{\varepsilon 1} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{сд}, \quad (3.7)$$

$$Q'_{\varepsilon 1} = 140,7 - 0 = 140,7 \text{ квар};$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.8)$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = 0,28 \cdot 167,6 = 47 \text{ квар};$$

Где  $\alpha=0,28$ ;  $Q_{сд}=0$  (так как в цехе отсутствуют синхронные двигатели)

$\alpha$  – основная ставка, руб/кВт – плата за 1 кВт максимальной нагрузки;

Так как напряжение пониженное, в часы наибольших нагрузок берем наименьшее из значений:  $Q_{\varepsilon 1}=47$  квар

Значения реактивной мощности во время минимальных нагрузок, обоснованных экономически:

$$Q'_{\varepsilon 2} = Q_{min} + Q_k, \quad (3.9)$$

$$Q'_{\varepsilon 2} = 63,3 + 0 = 63,3 \text{ квар};$$

Где  $Q_k=0$

$Q_k$  - мощность, генерируемая КУ предприятия во время минимальной активной нагрузки энергосистемы;

$$Q''_{\varepsilon 1} = Q_{min} - Q_{кд} = Q_{min} - (Q_p - Q''_{\varepsilon 1}), \quad (3.10)$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = -30,4 \text{ квар};$$

Так как напряжение повышенное, в часы наименьших нагрузок берем наибольшее из значений:  $Q_{э2}=63,3$  квар.

Общая мощность КУ:

$$Q_{ку.мах} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{э1}, \quad (3.11)$$

$$Q_{ку.мах} = 1,1 \cdot 140,7 - 47 = 107,8 \text{ квар};$$

$$Q_{ку.мин} = Q_{мин} - Q_{э2}, \quad (3.12)$$

$$Q_{ку.мин} = 63,3 - 63,3 = 0 \text{ квар};$$

Соответственно, целесообразна установка регулируемых КУ.

Выберем число и мощность трансформаторов с учетом компенсирования реактивной мощности.

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

$$Q_{эн} = Q_{э1} - Q_p - Q_p, \quad (3.13)$$

$$Q_{эн} = 47 - 140,7 - 131,6 = 37,9 \text{ квар};$$

Реактивная мощность, передаваемая из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{н.т})^2 - P_{\rho\Sigma}^2}, \quad (3.14)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,84 \cdot 250)^2 - 165,1^2} = 129,8 \text{ квар};$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ

$$Q_{\text{КУ.Н}} = Q_{\text{р}\Sigma} - Q_{\text{т}}, \quad (3.15)$$

$$Q_{\text{КУ.Н}} = 131,6 - 129,8 = 1,8 \text{ квар};$$

Из-за,  $Q_{\text{КУ.Н}} < 100$  квар, компенсирующее устройство на стороне до 1 кВ не нужно.

Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 6/10 кВ:

$$Q_{\text{КУ.В}} = Q_{\text{КУ.МАХ}} - Q_{\text{КУ.Н}}, \quad (3.15)$$

$$Q_{\text{КУ.В}} = 107,8 - 1,8 = 106 \text{ квар};$$

Из-за,  $Q_{\text{КУ.В}} < 800$  квар, компенсирующее устройство на стороне 10 кВ не нужно.

Выполним проверку соответствия  $\text{tg}\varphi$  – его значение должно быть максимально близким к 0,33

Таблица 4 – исходные данные

Параметры	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{м}}, \text{кВ}$	$Q_{\text{м}}, \text{квар}$	$S_{\text{м}}, \text{кВА}$
Всего на НН без КУ	0,82	0,69	165,1	131,6	211,1

«Определим расчетную мощность КУ

$$Q_{\text{к.р}} = \alpha \cdot P_{\text{м}} \cdot \text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_{\text{к}}, \quad (3.16)$$

$$Q_{\text{к.р}} = 0,9 \cdot 165,1 \cdot 0,69 - 0,33 = 53,5 \text{ квар};$$

Где  $Q_{к.р}$  – расчетная мощность компенсирующего устройства, квар;

$\alpha$ - коэффициент, учитывающий повышение  $\cos \varphi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;

$tg \varphi, tg \varphi_k$  – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.»[6].

Выбираем автоматическую конденсаторную установку с регулированием по мощности: 2хУКМ58-0,4-25-5 УЗ

Определим фактическое значение  $tg \varphi_k$  и  $\cos \varphi_k$

$$tg \varphi_k = tg \varphi - \frac{Q_{к.ст}}{a \cdot P_M}, \quad (3.17)$$

$$tg \varphi_k = 0,69 - \frac{2 \cdot 25}{0,9 \cdot 165,1} = 0,35;$$

Где  $Q_{к.ст}$  – стандартная мощность выбранного КУ, квар;

Таблица 5 – сводная ведомость нагрузок.

Параметр	$\cos \varphi$	$Tg \varphi$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$ , кВА
Всего на НН без КУ	0,82	0,69	165,1	131,6	211,1
КУ				2х32,4	
Всего на НН с КУ	0,96	0,28	165,1	66,3	177,9
Потери					17,8
Всего ВН с КУ					195,7

Определим потери в трансформаторе

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{M \text{ НН}}, \quad (3.18)$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 177,9 = 3,56 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{M \text{ НН}} , \quad (3.19)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 177,9 = 17,8 \text{ квар};$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2}, \quad (3.20)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{3,56^2 + 17,8^2} = 18,5 \text{ кВА};$$

$$S_T \geq S_p = 0,7 \cdot S_{M \text{ ВН}} , \quad (3.21)$$

$$S_T \geq S_p = 0,7 \cdot 195,7 \text{ кВА};$$

$$K_3 = \frac{S_{\text{НН}}}{S_T}, \quad (3.22)$$

$$K_3 = \frac{195,7}{250} = 0,78;$$

Далее произведем аналогичный расчет для двух трансформаторной подстанции.

### 3.1.2 Вариант с двухтрансформаторной КТП

Определим потери в трансформаторе:

$$\Delta P_T = N_T \cdot \Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} , \quad (3.23)$$

$$\Delta P_T = 1 \cdot 0,44 + 0,66^2 \cdot 2,65 = 1,6 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_T = N_T \cdot \Delta I_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} \cdot \frac{S_H}{100}, \quad (3.24)$$

$$\Delta P_T = 1 \cdot 2,4 + 0,66^2 \cdot 2,65 \cdot \frac{160}{100} = 5,7 \text{ квар};$$

Произведем расчет суммарной активной и реактивной мощности с потерями в трансформаторе:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.25)$$

$$P_p = 165,1 + 1,6 = 166,7 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.26)$$

$$Q_p = 131,6 + 5,7 = 137,3 \text{ квар};$$

Рассчитаем реактивную мощность в минимальной нагрузке:

$$Q_{min} = 45\% \cdot Q_p, \quad (3.27)$$

$$Q_{min} = 45\% \cdot 137,3 = 61,8 \text{ квар};$$

Значения реактивной мощности во время максимальных нагрузок, обоснованных экономически:

$$Q'_{\varepsilon 1} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{сд}, \quad (3.28)$$

$$Q'_{\varepsilon 1} = 166,7 - 0 = 166,7 \text{ квар};$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.29)$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = 0,28 \cdot 166,7 = 46,8 \text{ квар};$$

Так как напряжение пониженное, в часы наибольших нагрузок берем наименьшее из значений:  $Q_{\varepsilon 1} = 46,8$  квар.



Значения реактивной мощности во время наименьших нагрузок, обоснованных экономически:

$$Q'_{\varepsilon 2} = Q_{min} + Q_k, \quad (3.30)$$
$$Q'_{\varepsilon 2} = 61,8 + 0 = 61,8 \text{ квар};$$

Где  $Q_k=0$

$$Q''_{\varepsilon 1} = Q_{min} - Q_{кд} = Q_{min} - (Q_p - Q''_{\varepsilon 1}), \quad (3.31)$$
$$Q''_{\varepsilon 1} = 61,8 - 137,3 - 46,8 = -28,7 \text{ квар};$$

Так как напряжение повышенное, в часы наименьших нагрузок берем наибольшее из значений:  $Q_{\varepsilon 2}=61,8$  квар.

Общая мощность КУ:

$$Q_{ку.мах} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1}, \quad (3.32)$$
$$Q_{ку.мах} = 1,1 \cdot 137,3 - 46,8 = 104,23 \text{ квар};$$

$$Q_{ку.мин} = Q_{min} - Q_{\varepsilon 2}, \quad (3.33)$$
$$Q_{ку.мин} = 61,8 - 61,8 = 0 \text{ квар};$$

Соответственно, целесообразна установка регулируемых КУ.

Выберем число и мощность трансформаторов с учетом компенсирования реактивной мощности.

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

$$Q_{ЭН} = Q_{Э1} - Q_p - Q_p \quad , \quad (3.34)$$

$$Q_{ЭН} = 46,8 - 137,3 - 131,6 = 41,1 \text{ квар};$$

Реактивная мощность, передаваемая из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{н.т})^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.35)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,66 \cdot 160)^2 - 165,1^2} = 131,7 \text{ квар};$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ

$$Q_{ку.н} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.36)$$

$$Q_{ку.н} = 131,6 - 131,7 = -0,1 \text{ квар};$$

Из-за,  $Q_{ку.н} < 100$  квар, компенсирующее устройство на стороне до 1 кВ не нужно.

Мощность КУ, которые могут быть установлены на 10 кВ:

$$Q_{ку.в} = Q_{ку.маx} - Q_{ку.н}, \quad (3.37)$$

$$Q_{ку.в} = 104,23 - (-0,1) = 104,33 \text{ квар};$$

Из-за,  $Q_{ку.в} < 800$  квар, компенсирующее устройство на стороне 10 кВ не нужно.

Проверка соответствия коэффициента реактивной мощности  $\text{tg}\varphi$  была произведена при рассмотрении однострансформаторной КТП. В данном случае расчет представляется аналогичным, следовательно, так же необходима установка двух компенсирующих устройств УКМ58-0,4-25-5-У3[7].

С учетом компенсации реактивной мощности коэффициент загрузки равен:

$$K_3 = \frac{S_{\text{НН}}}{S_{\text{T}}}, \quad (3.38)$$

$$K_3 = \frac{195,7}{320} = 0,61;$$

### 3.1.3 Экономическое сравнение трансформаторов

Рассчитаем затраты на установку двух компенсирующих устройств УКМ58-0,4-25-5У3:

$$Z_{\text{КУ}} = E \cdot K_y \cdot \frac{U^2}{U_{\text{БК}}} \cdot Q + C_0 \cdot P_{\text{БК}} \cdot Q + E_p \cdot K_p \cdot n, \quad (3.39)$$

$$Z_{\text{КУ}} = 0,223 \cdot 480 \cdot \frac{1^2}{1} \cdot 0,2 + 4,8 \cdot 4,5 \cdot 0,2 + 0,27 \cdot 38 \cdot 2 = 46,21 \text{ тыс. руб};$$

Сумма, требуемая на установку КТП с трансформатором ТМФ 250/10/0,4

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_{\text{T}}, \quad (3.40)$$

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot 160 + 205,9 = 241,6 \text{ тыс. руб};$$

$$C \cdot \Delta P_{\text{T}} = C_0 \cdot \Delta P_{\text{xx}} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}}, \quad (3.41)$$

$$C \cdot \Delta P_{\text{T}} = 148,9 \cdot 0,56 + 49,1 \cdot 0,78^2 \cdot 4,1 = 205,9 \text{ тыс. руб};$$

$$C = \frac{\alpha}{T_{\text{М}}} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot \tau, \quad (3.42)$$

$$C = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 2886,2 = 49,1 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год};$$

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot T_p, \quad (3.43)$$

$$C_0 = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 8760 = 148,9 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год};$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_p, \quad (3.44)$$

$$\tau = 0,124 + \frac{4500}{10000}^2 \cdot 8760 = 2886,2 \text{ ч};$$

$$Z_{\text{общ1}} = Z_{\text{КТП}} + Z_{\text{КУ}}, \quad (3.45)$$

$$Z_{\text{общ1}} = 241,6 + 46,21 = 287,81 \text{ тыс руб};$$

Сумма, требуемая на установку КТП с двумя трансформаторами ТМГ 160/10/0,4

$$Z_{\text{КТП}} = n \cdot E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_T, \quad (3.46)$$

$$Z_{\text{КТП}} = 2 \cdot 0,223 \cdot 100 + 113,9 = 272,4 \text{ тыс. руб};$$

$$C \cdot \Delta P_T = 148,9 \cdot 0,44 + 49,1 \cdot 0,61^2 \cdot 2,65 = 113,9 \text{ тыс. руб};$$

$$C = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 2886,2 = 49,1 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год};$$

$$C_0 = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 8760 = 148,9 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год};$$

$$\tau = 0,124 + \frac{4500}{10000}^2 \cdot 8760 = 2886,2 \text{ ч};$$

$$Z_{\text{общ2}} = 272,4 + 46,21 = 318,6 \text{ тыс руб};$$

Сравним суммарные затраты на установку КТП для 1 и 2 вариантов:

$$(Z_{\text{общ1}} = 287,81 \text{ тыс. руб}) < (Z_{\text{общ2}} = 318,6 \text{ тыс руб})$$

В результате произведенного расчета выявлено, что с экономической точки зрения для питания данного металлообрабатывающего предприятия наиболее выгодно применение одного трансформатора ТМФ 250/10/0,4 с двумя компенсирующими устройствами 2хУКМ58-0,4-25-5У3.

Схема цехового электроснабжения приведена в графической части. Произведем выбор электрооборудования и проводников для обеспечения цехового оборудования электроэнергией.

### **3.2 Выбор кабелей и аппаратов защиты**

Для того, чтобы рассчитать значение токов короткого замыкания на разных точках цепи, требуются значения всех параметров ее элементов [8].

Выбор электрооборудования проводников произведем по расчетным значениям номинальных, длительно допустимых токов.

#### **3.2.1 Выбор защитной аппаратуры**

Защиту электроприемников выполним с помощью автоматических выключателей [19].

Линия Т1-ШНН, 1SF. Расчет выключателя линии производится без учета влияния пусковых токов ЭД.

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (3.47)$$

$$I_T = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 360,8 \text{ A};$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq I_T \geq 360,4 \text{ A}$$

Где  $S_T$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$U_n$  – номинальное напряжение трансформатора, кВ;

Выбираем ВА 53-39-3

$V_{н.а}=380В$

$I_{н.а}=630А$

$I_{н.р}=400А$

«Выключатели для линий ШНН – ШРМ, РП1, РП2, с группами ЭД выберем с помощью формулы и занесем в таблицу 6:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_M, \quad (3.48)$$

Где  $I_{н.а}$  – номинальный ток автомата, А;

$I_{н.р}$  – номинальный ток расцепителя, А;

$I_M$  – максимальный ток в линии, А;»[4].

Таблица 6 – Выключатели распределительных пунктов

Линия	Расчетный ток	Автомат	Ток расцепителя
ШРМ	180,3	ВА 52-35-3	200
РП1	46,64	ВА 51Г-31-3	50
РП2	110,99	ВА 53-37-3	160

Линия ШНН – РП3, SF1 линия с одним ЭД;

$$I_D = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{н.д} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_D}, \quad (3.49)$$

$$I_d = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,85} = 15 \text{ A};$$

Где  $P_n$  – мощность ЭД переменного тока, кВт;

$U_{н.д}$  – номинальное напряжение ЭД, кВ;

$\eta_d$ -КПД ЭД, отн. Ед;

Выбираем ВА 51-25-3

$$I_{н.р} = 16 \text{ A}$$

Линия ШНН -ЩО, SF1, линия без ЭД;

$$Q_{н\Sigma} = P_{н\Sigma} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.50)$$

$$Q_{н\Sigma} = 12,30 \cdot 0,33 = 4,06 \text{ кВАр};$$

$$S_{н\Sigma} = \sqrt{P_{н\Sigma}^2 + Q_{н\Sigma}^2}, \quad (3.51)$$

$$S_{н\Sigma} = \sqrt{12,30^2 + 4,06^2} = 12,95 \text{ кВА};$$

$$I_n = \frac{S_{н\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (3.52)$$

$$I_n = \frac{12,95}{1,73 \cdot 0,4} = 18,71 \text{ A};$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}$$

$$I_{н.р} \geq I_n = 18,71 \text{ A}$$

Выбираем ВА 51-25-3

$$I_{н.р} = 20 \text{ A}$$

Линия ШРМ- Плоскошлифовальный станок, SF линия с одним ЭД

$$I_d = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (3.53)$$

$$I_d = \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,85} = 40 \text{ A};$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_d = 1,25 \cdot 40 \text{ А} = 50 \text{ А};$$

Выбираем ВА 52Г-31-3

$$I_{н.р} = 63 \text{ А}$$

Аналогичный расчет произведен для прочих электроприемников в таблице 7:

Таблица 7- Выключатели электрооборудования.

Наименование электроприемника	Выбранный выключатель	Ток расчетный, А	Ток расцепителя, А
Универсальные заточные станки	ВА 52Г-31-3	63,77	80
Заточные станки для червячных фрез	ВА 51-31-3	25,5	31,5
Резьбошлифовальные станки	ВА 51-25-3	19,4	20
Заточные станки для фрезерных головок	ВА 51-25-3	15,7	16
Круглошлифовальные станки	ВА 52Г-31-3	40,8	50
Токарные станки	ВА 52-31-3	23,4	25
Вентиляторы	ВА 52Г-31-3	42,5	50
Внутришлифовальные станки	ВА 52-31-3	34	40
Заточный станки	ВА 51-25-3	11,9	12,5
Электропривод раздвижных ворот	ВА 51-25-3	17	20

### 3.2.2 Выбор проводника ВЛ ГПП -ШВН ТП

По данным таблицы 3.



Линия ГПП – ШВН ТП

Определяем расчетный ток в нормальном режиме

$$I_{\text{ВН}} = \frac{S_{\text{T}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}, \quad (3.54)$$
$$I_{\text{ВН}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,4 \text{ А};$$

Определяем экономическое сечение, согласно ПУЭ раздел 1.3.25.

$$S = \frac{I_{\text{ВН}}}{J_{\text{э}}}, \quad (3.55)$$
$$S = \frac{14,4}{1,6} \approx 9 \text{ мм}^2;$$

$J_{\text{э}}=1,6$  – нормальное значение экономической плотности тока ( $\text{А}/\text{мм}^2$ ) выбираем по ПУЭ таблица 1.3.36, с учетом что время использования максимальной нагрузки  $T_{\text{max}} = 1000-3000\text{ч}$  [9].

Сечение округляем до ближайшего стандартного  $16 \text{ мм}^2$ .

Длительно допустимый ток кабеля сечением  $3 \times 16 \text{ мм}^2$  по ПУЭ, таблица 1.3.16 составляет  $I_{\text{д.т}}=75 \text{ А}$ .

Выбираем кабель ААБЛУ -10 кВ сечением  $3 \times 16 \text{ мм}^2$

### 3.2.3 Выбор распределительного шинпровода

По таблице 3 выбираем:

По расчетному  $I_{\text{р}}=163,9 \text{ А}$ , Выбираем ШРМ 4-250-32-1У3 (35Х5)

$U_{\text{н.ш.}} = 380 \text{ В}$

$I_{\text{н.ш.}} = 250 \text{ А}$

### 3.2.4 Выбор кабельных линий

В помещениях с нормальной зоной опасности при отсутствии механических повреждений для прокладки принимается кабель ВВГ,  $K_{зщ}=1$  [5].

Пример расчета для выбора проводников представлен для линии Т1-ШНН:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{у п} , \quad (3.56)$$

$$I_{доп} = 1 \cdot 1,25 \cdot 400 = 500 \text{ А};$$

Для линии Т1-ШНН, выберем медную шину М1 4x40x2000

$$I_{доп}=625 \text{ А}$$

Аналогичным способом выбираем кабели до шинопровода и всех распределительных пунктов (таблица 4.3):

Таблица 8 – Кабели РП и ШРМ

Линия	Выбранный кабель/шина	Расчетный ток, А	Допустимый ток кабеля/шины, А
ШНН-ШРМ	ВВГ 2x(4x35)	250	330
ШНН-РП1	ВВГ 4x10	60	61
ШНН-РП2	ВВГ 2x(4x25)	200	214
ШНН-РП3	ВВГ 4x2.5	19,2	26
ШНН-ЩО	ВВГ 3x2.5	24	28

По тому же принципу произведен расчет кабелей до всех электроприемников (таблица 9):

Таблица 9 – Кабели электрооборудования.

Линия	Кабель	Расчетный ток	Допустимый ток
ШРМ- Плоскошлифовальный станок	ВВГ 3x16	85	87
ШРМ -Токарный станок	ВВГ 3x4	33,75	37
ШРМ - Круглошлифовальные станок	ВВГ 4x16	67,5	81
ШРМ - Внутришлифовальный станок	ВВГ 4x10	54	61
ШРМ -Заточный станок	ВВГ 3x1.5	15	21
ШРМ -Электропривод раздвижных ворот	ВВГ 2x2.5	25	33
РП1-Универсальный заточный станок	ВВГ 3x(4x6)	108	135
РП1-Заточный станок для фрезерных головок	ВВГ 4x2.5	19,2	26
РП1-Заточный станок для червячных фрез	ВВГ 2x4	37,8	44
РП2-Вентилятор	ВВГ 3x16	67,5	87
РП3- резьбошлифовальный станок	ВВГ 3x2.5	24	28

### **3.3 Расчет токов короткого замыкания**

При использовании электрооборудования всегда существует вероятность возникновения разных видов коротких замыканий, в свою очередь короткое замыкание вызывает резкое возрастание силы тока.

«Короткое замыкание (КЗ) – это всякое не предусмотренное нормальными условиями работы замыкание между фазами, а в системах с заземлёнными нейтралью (или четырехпроводными) также замыкание одной или нескольких фаз на землю (или на нулевой провод).

К основным причинам возникновения КЗ можно отнести: старение изоляции, её повреждения, ошибки оперативного персонала, а также перенапряжение в схемах.»[3].

При появлении короткого замыкания в схеме, происходит понижение напряжения и быстрое возрастание силы тока. Что приводит к механическим повреждениям, перегреву электродвигателей, появлению помех в связи, остановка автоматизированного технического процесса и как следствие выпуск бракованной продукции, в целом это является нарушением электроснабжения.

Уменьшение вероятно возможных коротких замыканий, а также снижение их тяжести считается основной целью при создании надежной системы электроснабжения.

Расчеты токов КЗ в сетях до 1 кВ производились в соответствии с методикой, рекомендованной ГОСТ 28249-93. КЗ рассчитываются в трех точках.

К1- непосредственно в РУ 0,4 кВ;

К2 – на вводных контактах шинпровода ШНН;

К3- для самого мощного и самого близкого к ТП электроприемника.

Наиболее мощным и близким к ТП электроприемником для данного цеха является плоскошлифовальный станок, подключенный к ШРМ. Точку КЗ примем вблизи данного агрегата. Исходя из этого и вышеизложенных положений ГОСТ 28249 – 49 составим схему для расчета токов КЗ (Рисунок 2) [19].

### **3.3.1 Расчет параметров схемы замещения**

Длины кабелей, ШРА и ВЛ:

$$L_{ВН}=1,3 \text{ км}$$

$$L_{ш}=2 \text{ м}$$

$$L_{КЛ1}=13 \text{ м}$$

$$L_{ШРМ}=9 \text{ м}$$

$$L_{КЛ2}=7 \text{ м}$$

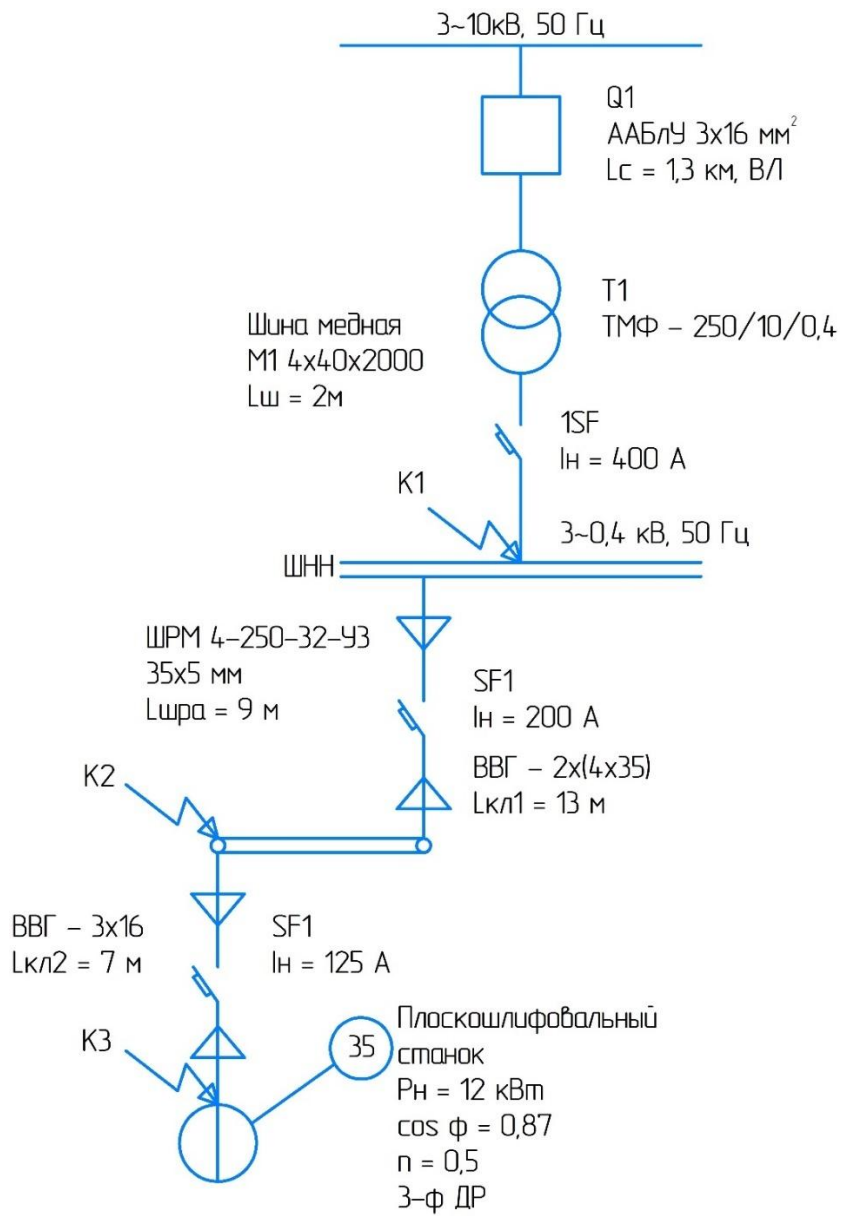


Рисунок 2-Расчетная схема ЭСН

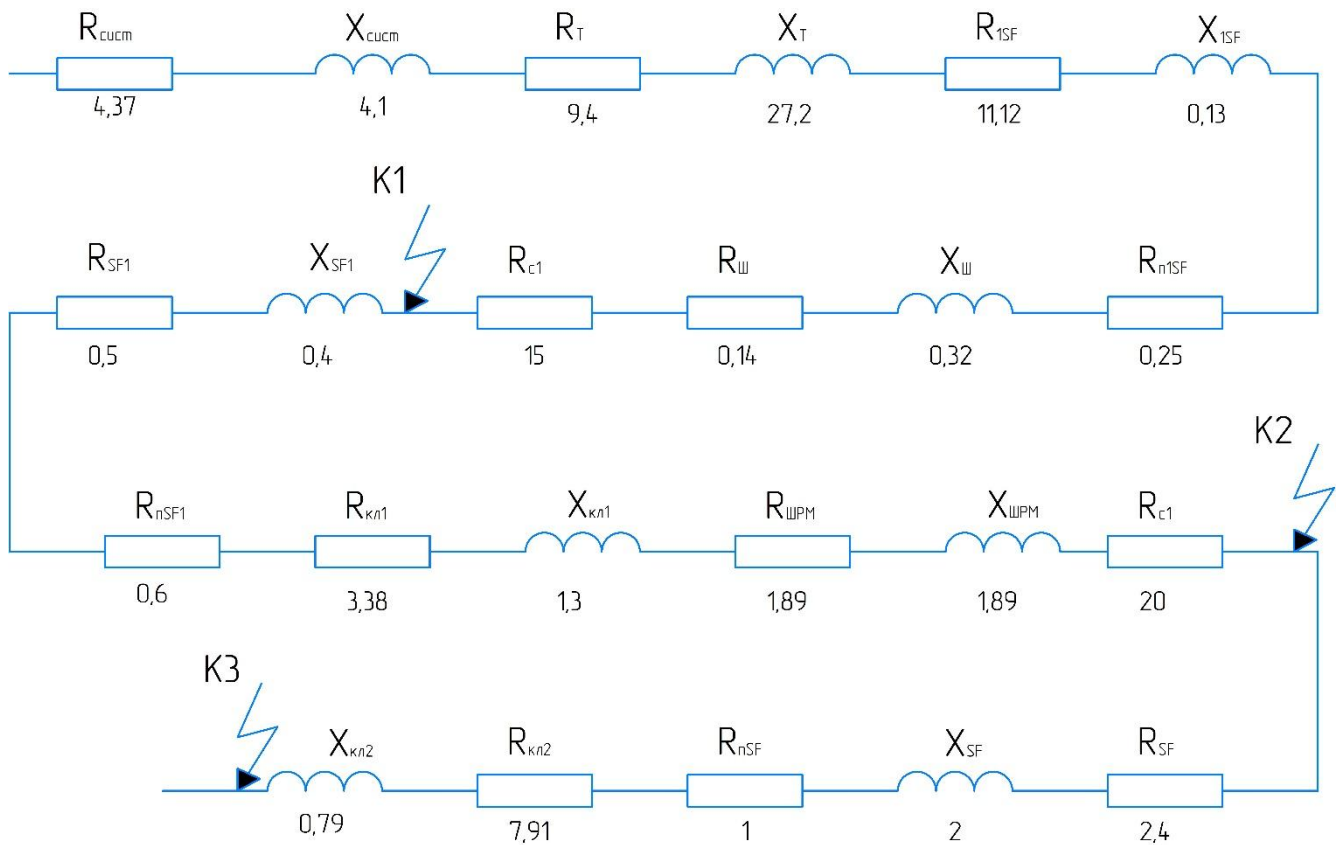


Рисунок 3 -Схема замещения

Произведем расчет сопротивлений для схемы замещения

Для системы:

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot V_c}, \quad (3.57)$$

$$I_c = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,4 \text{ A};$$

Наружный кабель ААБЛУ -10 кВ;  $I_{доп}=75 \text{ A}$

$$x_0 = 1,95 \text{ Ом/км}$$

$$X'_c = x_0 \cdot L_c = 1,95 \cdot 1,3 = 2,54 \text{ Ом}$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \cdot S}, \quad (3.58)$$

$$r_0 = \frac{10^3}{30 \cdot 16} = 2,1 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$$

$$R'_C = r_0 \cdot L_C,$$

$$R'_C = 2,1 \cdot 1,3 = 2,73 \text{ Ом};$$
(3.59)

Сопротивление приводится к НН:

$$R_C = R'_C \cdot \frac{V_{\text{НН}}^2}{V_{\text{ВН}}^2},$$

$$R_C = R'_C = 2,73 \cdot \frac{0,4^2}{10} \cdot 10^3 = 4,37 \text{ мОм};$$
(3.60)

$$X_C = X'_C \cdot \frac{V_{\text{НН}}^2}{V_{\text{ВН}}^2},$$

$$X_C = 2,54 \cdot \frac{0,4^2}{10} \cdot 10^3 = 4,1 \text{ мОм};$$
(3.61)

Для трансформатора:

$$R_T = 9,4 \text{ мОм} \quad X_T = 27,2 \text{ мОм} \quad Z_T^{(1)} = 312 \text{ мОм}$$

Для автоматов

$$1SF \quad R_{1SF} = 11,12 \quad X_{1SF} = 0,13 \quad R_{n1SF} = 0,25$$

$$SF1 \quad R_{SF1} = 0,4 \quad X_{SF1} = 0,5 \quad R_{nSF1} = 0,6$$

$$SF \quad R_{SF} = 2,4 \quad X_{SF} = 2 \quad R_{nSF} = 1$$

Для медных шин:

$$r_0 = 0,067 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; \quad x_0 = 0,156 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{\text{ш}} = r_0 \cdot L_{\text{ш}},$$
(3.62)

$$R_{\text{ш}} = 0,07 \cdot 2 = 0,14 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{ш}} = x_0 \cdot L_{\text{ш}},$$
(3.63)

$$X_{\text{ш}} = 0,16 \cdot 2 = 0,32 \text{ мОм};$$



Для кабельных линий

КЛ1:

$$r'_0 = 0,51 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}; x_0 = 0,095 \frac{\text{МОм}}{\text{М}};$$

Так как в схеме 2 параллельных кабеля, то:

$$r_0 = \frac{1}{2} \cdot r'_0, \quad (3.64)$$

$$r_0 = \frac{1}{2} \cdot 0,51 = 0,26 \frac{\text{МОм}}{\text{М}};$$

$$R_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ1}}, \quad (3.65)$$

$$R_{\text{КЛ1}} = 0,26 \cdot 13 = 3,38 \text{ МОм};$$

$$X_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ1}}, \quad (3.66)$$

$$X_{\text{КЛ1}} = 0,1 \cdot 13 = 1,3 \text{ МОм};$$

КЛ2:

$$r'_0 = 1,12 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}; x_0 = 0,113 \frac{\text{МОм}}{\text{М}};$$

$$R_{\text{КЛ2}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ2}}, \quad (3.67)$$

$$R_{\text{КЛ2}} = 1,13 \cdot 7 = 7,91 \text{ МОм};$$

$$X_{\text{КЛ2}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ2}}, \quad (3.68)$$

$$X_{\text{КЛ2}} = 0,113 \cdot 7 = 0,79 \text{ МОм};$$

Для шинпровода ШРМ 4-250-32-У3:

$$r_0 = 0,21 \frac{\text{МОм}}{\text{М}}; x_0 = 0,21 \frac{\text{МОм}}{\text{М}};$$

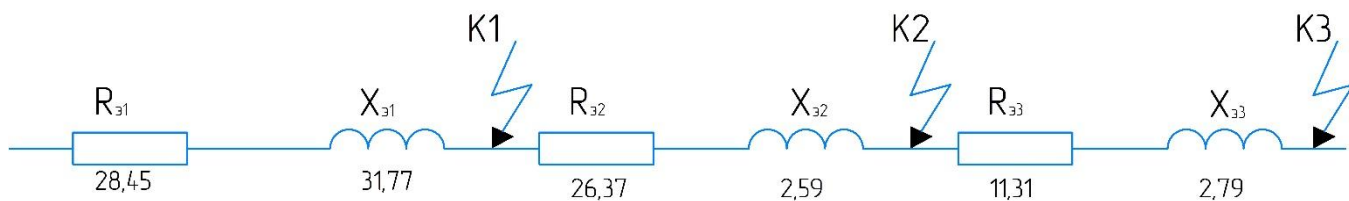
$$X_{\text{ШРМ}} = R_{\text{ШРМ}} = r_0 \cdot L_{\text{ШРМ}}, \quad (3.69)$$

$$X_{\text{ШРМ}} = R_{\text{ШРМ}} = 0,21 \cdot 9 = 1,89 \text{ МОм};$$

Для ступеней распределения:

$$R_{c1} = 15 \text{ МОм}; R_{c2} = 20 \text{ МОм};$$

Упростим схему замещения и произведем расчет эквивалентных сопротивлений на участках между точками КЗ и нанесем их на схему (рисунок



5.3) [11].

Рисунок 4 -Упрощенная схема замещения

$$R_{э1} = R_{\text{сист}} + R_{\text{T}} + R_{1SF} + R_{n1SF} + R_{\text{Ш}} + R_{\text{C1}}, \quad (3.70)$$

$$R_{э1} = 4,37 + 9,4 + 11,12 + 0,25 + 0,14 + 0,14 = 28,45 \text{ мОм};$$

$$X_{э1} = X_{\text{сист}} + X_{\text{T}} + X_{1SF} + X_{\text{Ш}}, \quad (3.71)$$

$$X_{э1} = 4,1 + 27,2 + 0,13 + 0,32 = 31,77 \text{ мОм};$$

$$R_{э2} = R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{\text{КЛ1}} + R_{\text{ШПМ}} + R_{\text{C2}}, \quad (3.72)$$

$$R_{э2} = 0,5 + 0,6 + 3,38 + 1,89 + 20 = 26,37 \text{ мОм};$$

$$X_{э2} = X_{SF1} + X_{\text{КЛ1}} + X_{\text{ШПМ}}, \quad (3.73)$$

$$X_{э2} = 0,4 + 1,3 + 1,89 = 2,59 \text{ мОм};$$

$$R_{э3} = R_{SF} + R_{nSF} + R_{\text{КЛ2}}, \quad (3.74)$$

$$R_{э3} = 2,4 + 1 + 7,91 = 11,31 \text{ мОм};$$

$$X_{э3} = X_{SF} + X_{\text{КЛ2}}, \quad (3.75)$$

$$X_{э3} = 2 + 0,79 = 2,79 \text{ мОм};$$

Вычислим сопротивления до каждой точки КЗ и занесем их в сводную ведомость:

$$R_{\text{К1}} = R_{э1} = 28,45 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{К1}} = X_{э1} = 31,77 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{К1}} = \sqrt{R_{\text{К1}}^2 + X_{\text{К1}}^2}, \quad (3.76)$$

$$Z_{\text{К1}} = \sqrt{28,45^2 + 31,77^2} = 42,65 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{К2}} = R_{э1} + R_{э2}, \quad (3.78)$$

$$R_{K2} = 28,45 + 26,37 = 54,82 \text{ МОМ};$$

$$X_{K2} = X_{Э1} + X_{Э2}, \quad (3.79)$$

$$X_{K2} = 31,77 + 2,59 = 34,36 \text{ МОМ};$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2}, \quad (3.80)$$

$$Z_{K2} = \sqrt{54,82^2 + 34,36^2} = 64,7 \text{ МОМ};$$

$$R_{K3} = R_{K2} + R_{Э3}, \quad (3.81)$$

$$R_{K3} = 54,82 + 11,31 = 66,13 \text{ МОМ};$$

$$X_{K3} = X_{K2} + X_{Э3}, \quad (3.82)$$

$$X_{K3} = 34,36 + 2,79 = 37,15 \text{ МОМ};$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2}, \quad (3.83)$$

$$Z_{K3} = \sqrt{66,13^2 + 37,15^2} = 75,85 \text{ МОМ};$$

$$\frac{R_{K1}}{X_{K1}} = \frac{28,45}{37,77} = 0,75;$$

$$\frac{R_{K2}}{X_{K2}} = \frac{54,82}{34,36} = 1,6;$$

$$\frac{R_{K3}}{X_{K3}} = \frac{66,13}{37,15} = 1,78;$$

### 3.3.2 Расчет токов КЗ

Определим коэффициенты  $K_y$  и  $q$

$$K_{y1} = F \cdot \frac{R_{K1}}{X_{K1}} = F \cdot 0,75 = 1,1$$

$$K_{y2} = F \cdot \frac{R_{K2}}{X_{K2}} = F \cdot 1,6 = 1$$

$$K_{y3} = F \cdot \frac{R_{K3}}{X_{K3}} = F \cdot 1,78 = 1$$

$$q_1 = \frac{1}{1 + 2(K_y - 1)^2}, \quad (3.84)$$

$$q_1 = \frac{1}{1 + 2(1,1 - 1)^2} = 1$$

$$q_2 = q_3 = 1$$

Определим 3-фазные и 2-фазные токи КЗ и занесем их в таблицу 5.1:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k1}}, \quad (3.85)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 42,65} = 5,42 \text{кА};$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{V_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k2}}, \quad (3.86)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 64,7} = 3,4 \text{кА};$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{V_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{k3}}, \quad (3.87)$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 75,85} = 2,9 \text{кА};$$

$$I_{yK1} = q_1 \cdot I_{K1}^3, \quad (3.88)$$

$$I_{yK1} = 5,42 \text{кА};$$

$$I_{yK2} = q_2 \cdot I_{K2}^3, \quad (3.89)$$

$$I_{yK2} = 3,4 \text{кА};$$

$$I_{yK3} = q_3 \cdot I_{K3}^3, \quad (3.90)$$

$$I_{yK3} = 2,9 \text{кА};$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^3, \quad (3.91)$$

$$i_{yK1} = 1,41 \cdot 1 \cdot 5,42 = 7,64 \text{кА};$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^3, \quad (3.92)$$

$$i_{yK2} = 1,41 \cdot 1 \cdot 3,4 = 4,8 \text{кА};$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{k3}^3, \quad (3.93)$$

$$i_{yK3} = 1,41 \cdot 1 \cdot 2,9 = 4,1 \text{кА};$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^3, \quad (3.94)$$

$$I_k^{(2)} = 0,87 \cdot 5,42 = 4,71 \text{ кА};$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k2}^3, \quad (3.95)$$

$$I_k^{(2)} = 0,87 \cdot 3,4 = 2,96 \text{ кА};$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}^3, \quad (3.96)$$

$$I_k^{(2)} = 0,87 \cdot 2,9 = 2,52 \text{ кА};$$

Таблица 10 – Токи КЗ.

Точка КЗ	$R_k$ , мОм	$X_k$ , мОм	$Z_k$ , мОм	$R_k/X_k$	$K_y$	$q$	$I_k^{(3)}$ , кА	$i_y$ , кА	$I_\infty^{(3)}$ , кА	$I_k^{(2)}$ , кА	$Z_{\Sigma}$ , мОм	$I_k^{(1)}$ , кА
К1	28,45	37,77	42,65	0,75	1,1	1	5,42	7,64	5,42	4,71	15	1,85
К2	54,82	34,36	64,7	1,6	1	1	3,4	4,8	3,4	2,96	45,99	1,47
К3	66,13	37,15	75,85	1,78	1	1	2,9	4,1	3,9	2,52	53,93	1,39

Сделаем схему замещения для произведения расчета однофазных токов КЗ (рисунок 5)[18].

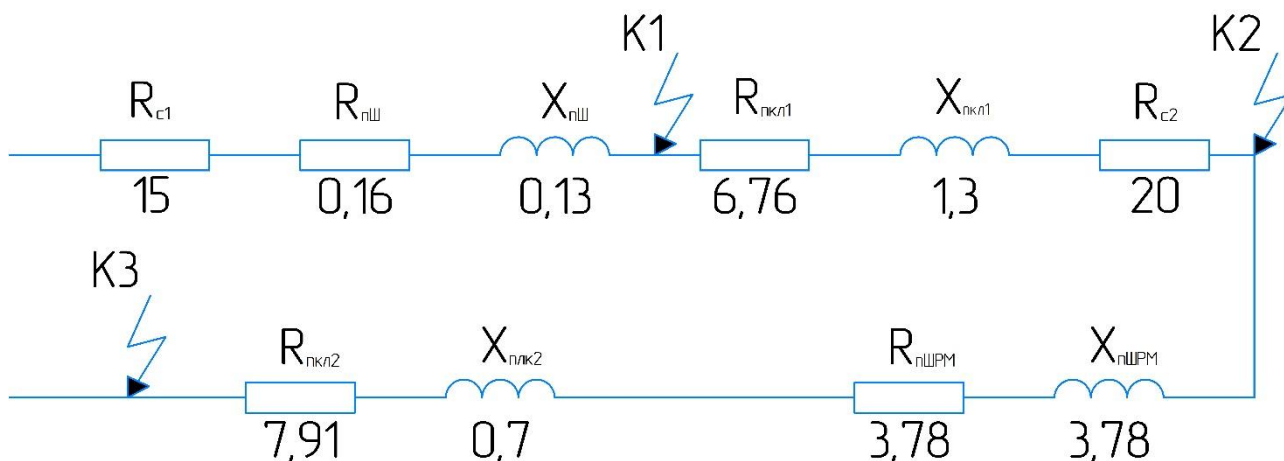


Рисунок 5 - Схема замещения для 1-фазных токов КЗ

Для кабельных линий:

$$X_{\text{пкл1}} = x_{0\text{п}} \cdot L_{\text{кл1}}, \quad (3.97)$$

$$X_{\text{пкЛ1}} = 0,1 \cdot 13 = 1,3 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{пкЛ1}} = 2r_0 \cdot L_{\text{кЛ1}}, \quad (3.98)$$

$$R_{\text{пкЛ1}} = 2 \cdot 0,26 \cdot 13 = 6,76 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{пкЛ2}} = x_{0\text{п}} \cdot L_{\text{кЛ2}}, \quad (3.99)$$

$$X_{\text{пкЛ2}} = 0,1 \cdot 7 = 0,7 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{пкЛ2}} = 2r_0 \cdot L_{\text{кЛ2}}, \quad (3.100)$$

$$R_{\text{пкЛ2}} = 1,13 \cdot 7 = 7,91 \text{ мОм};$$

Для медных шин:

$$R_{\text{пШ}} = r_{0\text{пШ}} \cdot L_{\text{Ш}}, \quad (3.101)$$

$$R_{\text{пШ}} = 0,08 \cdot 2 = 0,16 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{пШ}} = x_{0\text{пШ}} \cdot L_{\text{Ш}}, \quad (3.102)$$

$$X_{\text{пШ}} = 0,063 \cdot 2 = 0,126 \text{ мОм};$$

Для ШРМ:

$$R_{\text{пШРМ}} = r_{0\text{пШРМ}} \cdot L_{\text{ШРМ}}, \quad (3.103)$$

$$R_{\text{пШРМ}} = 0,42 \cdot 9 = 3,78 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{пШРМ}} = x_{0\text{пШРМ}} \cdot L_{\text{ШРМ}}, \quad (3.104)$$

$$X_{\text{пШРМ}} = 0,42 \cdot 9 = 3,78 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п1}} = 15 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{п2}} = R_{\text{с1}} + R_{\text{пкЛ1}} + R_{\text{пШ}} + R_{\text{пШРМ}} + R_{\text{с2}}, \quad (3.105)$$

$$R_{\text{п2}} = 15 + 6,76 + 0,16 + 3,78 + 20 = 45,7 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{п2}} = X_{\text{пкЛ1}} + X_{\text{пШ}} + X_{\text{пШРМ}}, \quad (3.106)$$

$$R_{\text{п2}} = 1,3 + 0,126 + 3,78 = 5,21 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п2}} = \sqrt{R_{\text{п2}}^2 + X_{\text{п2}}^2}, \quad (3.107)$$

$$Z_{\text{п2}} = \sqrt{45,7^2 + 5,21^2} = 45,99 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{п3}} = R_{\text{п2}} + R_{\text{пкЛ2}}, \quad (3.108)$$

$$R_{\text{пз}} = 45,7 + 7,91 = 53,61 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{пз}} = X_{\text{п2}} + X_{\text{пкЛ2}}, \quad (3.109)$$

$$X_{\text{пз}} = 5,21 + 0,7 = 5,91 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{пз}} = \sqrt{R_{\text{пз}}^2 + X_{\text{пз}}^2}, \quad (3.110)$$

$$Z_{\text{пз}} = \sqrt{53,61^2 + 5,91^2} = 53,93 \text{ мОм};$$

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{V_{\text{кф}}}{\frac{Z_{\text{Т}}^{(1)}}{3} + Z_{\text{п1}}}, \quad (3.111)$$

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{312}{3} + 15} = 1,85 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{V_{\text{кф}}}{\frac{Z_{\text{Т}}^{(1)}}{3} + Z_{\text{п2}}}, \quad (3.112)$$

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{312}{3} + 45,99} = 1,47 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к3}}^{(1)} = \frac{V_{\text{кф}}}{\frac{Z_{\text{Т}}^{(1)}}{3} + Z_{\text{п3}}}, \quad (3.113)$$

$$I_{\text{к3}}^{(1)} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{312}{3} + 53,93} = 1,39 \text{ кА};$$

Результаты расчета занесем в таблицу токов КЗ (таблица 10).

### 3.4 Обеспечение безопасности жизнедеятельности

Для обеспечения безопасного использования электрических установок персоналом и надежного соединения с землей, на металлообрабатывающем предприятии будет использовано устройство защитного заземления, состоящее из 16 мм арматур, вбитых в землю вертикально на глубину 1,5 метра и соединенных между собой полосой из стали. Данная конструкция должна быть

закопана в грунт так, чтобы полоса из стали находилась на глубине 0,7-0,8 метра[13].

Расчет устройства защитного заземления выполнен в соответствии с ПУЭ.

Найдем сопротивление электрода:

$$R_{\text{э}} = \frac{\rho \cdot K_{\text{в}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\text{э}}} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_{\text{э}}}{d_{\text{э}}} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot h_{\text{э}} \cdot l_{\text{э}}}{4 \cdot h_{\text{э}} \cdot l_{\text{э}}}, \quad (3.114)$$

$$R_{\text{э}} = \frac{300 \cdot 1,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \ln \frac{2 \cdot 3}{0,0475} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 0,0475}{4 \cdot 2 - 0,0475} = 125,3 \text{ Ом};$$

Где  $l_{\text{э}}$  - Длина электрода, м;

$d_{\text{э}}$  - диаметр электрода, м;

$h_{\text{э}}$  - глубина заложения электрода, м;

$\rho_{\text{э}}$  - удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$K_{\text{э}}$  - повышающий коэффициент электрода;

Рассчитаем необходимое число электродов:

$$n' = \frac{R_{\text{э}}}{R_{\text{у}} \cdot \eta_{\text{э}}}, \quad (3.115)$$

$$n' = \frac{125,3}{12 \cdot 0,7} = 14,9 = 16 \text{ шт};$$

Где  $R_{\text{у}}$ - допустимое сопротивление заземляющего устройства с учетом удельного сопротивления грунта, Ом;

$\eta_{\text{э}}$ -коэффициент использования заземлителей.

Определим длину соединяющей линии:

$$l_{\text{л}} = a \cdot n', \quad (3.116)$$



$$l_n = 12 \cdot 6 = 72 \text{ м};$$

Где  $a$ - расстояние между электродами, м;

$n'$ -количество электродов;

Найдем сопротивление соединяющей линии:

$$R_n = \frac{\rho \cdot K_r}{2 \cdot \pi \cdot l_n} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_n^2}{h_n \cdot b} , \quad (3.117)$$

$$R_n = \frac{300 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 72} \cdot \ln \frac{2 \cdot 72^2}{72 \cdot 0,05} = 8,3 \text{ Ом};$$

Где  $K_r$ - повышающий коэффициент для горизонтальных электродов;

$b$  – ширина горизонтального электрода, м;

Вычислим общее сопротивление контура защитного заземления:

$$R_\Sigma = \frac{R_\varepsilon \cdot R_n}{R_\varepsilon \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_\varepsilon \cdot n'} , \quad (3.118)$$

$$R_\Sigma = \frac{125,3 \cdot 8,3}{125,3 \cdot 0,57 + 8,3 \cdot 0,7 \cdot 16} = 6,3 \text{ Ом};$$

Произведем проверку выполнения условия:

$$R_\Sigma \leq R_u,$$

$$6,3 \leq 12 \text{ Ом};$$

## Заключение

В процессе проектирования электроснабжения металлообрабатывающего предприятия была рассчитана нагрузка по цеху с учетом освещения, которая составила 228.3 кВА. Далее был произведен расчет экономически выгодного трансформатора. Решено использовать комплектную трансформаторную подстанцию с одним трансформатором типа ТМФ 250/10/0,4.

Для защиты оборудования были рассчитаны автоматические выключатели.

Произведен выбор линии ЭСН: для прокладки в траншее ГПП–КТП, кабель ААБЛУ, для соединения ТП с ШНН – медные шины, для обеспечения питания оборудования – кабели марки ВВГ и распределительный шинопровод (ШРМ).

Расчет токов КЗ произведен на ступени напряжения 0,4 кВ. При этом сопротивление кабеля 10 кВ было приведено к ступени напряжения, на которой произошло КЗ.

В результате произведенной работы система электроснабжения металлообрабатывающего предприятия завершена и соответствует всем нормам и требованиям.

## Список использованных источников

1. РФ. Росстандарт. ГОСТ Р 50786-2012. Станки металлообрабатывающие малогабаритные. Требования безопасности : Введ. 2013-03-02. М., Стандартинформ, 2013.
2. Method for determining quality indicators of electrical power, authors: *Ion S. Antoniu, Ion N. Chiuta, Dan D. Gheorghide* // *Annals: Series on engineering sciences.* –2017. – p. 14.
3. Внутрицеховое электроснабжение [Электронный ресурс] : – Режим доступа: [https://studopedia.ru/4\\_114193\\_vnutritsehovoe-elektrosnabzhenie.html](https://studopedia.ru/4_114193_vnutritsehovoe-elektrosnabzhenie.html) – Заглавие с экрана.
4. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие. М. : Форму ; Инфра-М, 2014. 596 с.
5. Суворин А. В. Электрические схемы электроустановок. Составление и монтаж: Практическое пособие. М. : Феникс, 2015. 544 с.
6. Сивков А. А. Сайгаш А. С. Герасимов Д. Ю. Основы электроснабжения: Учебное пособие. М. : Юрайт, 2016. 174 с.
7. Киреева Э. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М. : КноРус, 2016. 368 с.
8. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие. М. : Academia, 2013. 320 с.
9. Хорольский В. Я. Таранов М. А. Надежность электроснабжения: Учебное пособие. М. : ДРОФА, 2013. 128 с.
10. Сибкин Ю. Д. Сибикин М. Ю. Яшков В. А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебное пособие. М. : Форум : Инфра-М, 2015. 368 с.
11. Кудрин, Б. И. Электроснабжение: Учебник. М. : Academia, 2015. – 352 с.

12. Энергосбережение в системах промышленного электроснабжения – Теплоэнергетик. М. : Интехэнерго-Издат, 2014. 304 с.
13. Fernando Pacheco-Torgal Claes Granqvist Bjorn Jelle, Cost-Effective Energy Efficient Building Retrofitting 1st Edition/ Woodhead Publishing, 2017. – 632 pages
14. Godfrey Boyle, Renewable Energy: Power for a Sustainable Future/ OUP Oxford; 3 edition, 13 Sept. 2012. - 584 pages.
15. Bob Everett, Stephen Peake, Janet Ramage, Energy Systems and Sustainability: Power for a Sustainable Future/OUP Oxford; 2 edition, 2013. - 672 pages.
16. Khan, S. Industrial power systems / S. Khan, S. Khan, G. Ahmed. – Boca Raton: CRC Press, 2016.
17. Вахнина В. В. Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения. /Электронное учебно- методическое пособие. М. : Тольятти, 2016.
18. Сибикин Ю. Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий: учебное пособие. М. : 2014. 414 с.
19. Карманова, Т.Е. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения: Учебное пособие/Учреждение образования «Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова», 2015.
20. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. М.: ФОРУМ : ИНФРА – М, 2010. 214 с.