



## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа представляет собой создание надежной системы электроснабжения предприятия по металлообработке.

Основной частью данной работы являются расчеты нагрузок всех электроприемников, исходя из полученных данных, выбор трансформаторной подстанции и основных средств защиты от поражения электрическим током.

Главной задачей, при создании надежной и безопасной системы электроснабжения, является защита человека от поражения человека электрическим током. Средства необходимые для выполнения этого условия были рассчитаны в данной работе, в их числе: правильно подобранные по мощности электроприемника кабели, рассчитаны аппараты защиты в случае короткого замыкания в кабельных линиях, в целях защиты корпусов электрооборудования и элементов здания нормально не находящихся под напряжением был произведен расчет системы заземления. Второстепенной задачей является осуществление бесперебойной работы всех электроприемников для того, чтобы минимизировать вероятность не до отпуска и порчи обрабатываемого материала.

Выпускная квалификационная работа имеет в своем составе: пояснительную записку на 50 страницы, введения на 1 страницу, включая 5 рисунков, 10 таблиц и списка из 20 источников литературы, 5 из которых на иностранном языке и 6 чертежей на листах формата А1.

## **ABSTRACT**

The final qualifying work is the creation of a reliable power supply system for the Metalworking enterprise.

The main part of this work is the calculation of loads of all electrical receivers, based on the data obtained, the choice of transformer substation and basic means of protection against electric shock.

The main task, when creating a reliable and safe power supply system, is to protect a person from electric shock. The means necessary for the fulfillment of this condition were calculated in this work, including: cables correctly selected for the power of the electrical receiver, protection devices in the event of a short circuit in the cable lines were calculated, in order to protect the buildings of electrical equipment and building elements normally not under voltage, the grounding system was calculated. A secondary task is to ensure the smooth operation of all electrical receivers in order to minimize the probability of not leaving and spoilage of the processed material.

The final qualifying work is composed of: an explanatory note of 50 pages, introductions of 1 page, including 5 figures, 10 tables and a list of 20 sources of literature, 5 of which are in a foreign language and 6 drawings on A1 sheets.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Характеристика проектируемого объекта.....	6
1.1 Общая характеристика объекта.....	6
1.2 Характеристика электрооборудования объекта.....	8
1.3 Источники электрической энергии.....	9
2 Расчет электрических нагрузок объекта.....	10
2.1 Перевод электроприемников в трехфазный длительный режим работы.....	10
2.2 Расчет электрического освещения.....	11
2.3 Характеристика электрических нагрузок.....	13
3 Расчет и выбор основных средств электроснабжения... ..	19
3.1 Обоснование выбора трансформаторной подстанции.....	19
3.1.1 Вариант подстанции с одним трансформатором.....	20
3.1.2 Вариант подстанции с двумя трансформаторами.....	24
3.1.3 Выбор подстанции в соответствии с экономией.....	27
3.2 Выбор кабелей и аппаратов защиты.....	29
3.2.1 Выбор аппаратов защиты.....	29
3.2.2 Выбор проводника ВЛ ГПП-ШВН ТП.....	32
3.2.3 Выбор распределительного шинпровода.....	33
3.2.4 Выбор кабельных линий.....	33
3.3 Расчет токов короткого замыкания.....	35
3.3.1 Расчет параметров схемы замещения.....	36
3.3.2 Расчет токов КЗ.....	42
3.4 Обеспечение безопасности жизнедеятельности.....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	49

## **ВВЕДЕНИЕ**

Главной целью энергетики является обеспечение бесперебойного электроснабжения различных предприятий. Промышленные предприятия составляют большую часть всех потребителей электрической энергии, именно поэтому очень важно правильно подойти к проектированию системы электроснабжения. В связи с этим, использование некачественных материалов и неграмотные расчеты для выбора оборудования могут привести к аварии, которая повлияет на всю систему электроснабжения в целом.

В данной работе будет произведен расчет системы электроснабжения металлообрабатывающего предприятия невысокой мощности.

Основными электроприемниками в промышленности являются асинхронные двигатели, реже синхронные. Из них выполняют большинство механизмов: компрессоры, насосы, вентиляторы, центрифуги, мотор-редукторы, наиболее современные предприятия так же используют их для создания роботов и манипуляторов, для подъема и перемещения какой-либо продукции.

Для создания надежной системы электроснабжения, которая будет соответствовать всем современным нормам и стандартам, будут использованы наиболее распространенные методы и нормативные документы.

## **1 Характеристика проектируемого объекта**

### **1.1 Общая характеристика объекта**

Объектом проектирования является металлообрабатывающее предприятие филиала производственного предприятия общества с ограниченной ответственностью «Технопарк», расположенного по адресу Самарская область, с. Тимофеевка ул. Строителей, д.82, строение 1. Вид деятельности данного предприятия – производство металлоизделий и дальнейшая его реализация оптом. Данное предприятие в настоящий момент находится на стадии завершения строительства. Планом строительства предусмотрено наличие основного цеха по металлообработке и вспомогательных помещений, таких как офис, склад, бытовые помещения.

Имеющееся оборудования относится ко второй и третьей категории надежности электроснабжения.

Размеры здания предприятия АхВхН=50х30х8м.

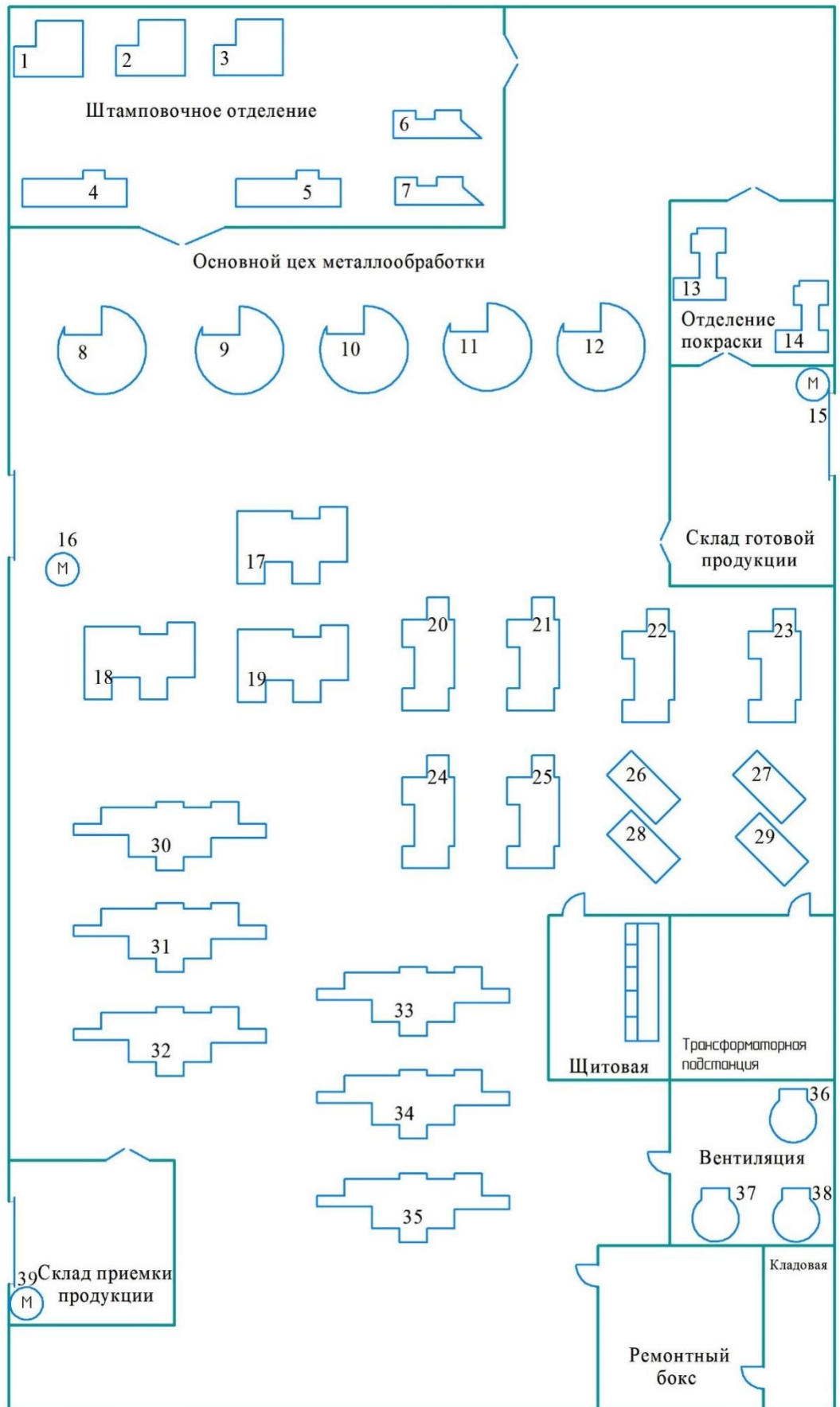


Рисунок 1 – План предприятия

## 1.2 Характеристика электрооборудования объекта

Различные металлообрабатывающие станки расположены в соответствии с рисунком 1 в основном цехе металлообработки. 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>		
Пресс горячий для щита VP-E25/13	15	3
Автоматическая торцовочная линия с функцией оптимизации TRV1200S	6	2
Покрасочная камера	4,5	2
Станок ленточный плоскошлифовальный	3,7	2
Четырехсторонний продольно-фрезерный станок OSTERMANN 180S	9,6	5
Токарный станок	5,5	3
Вентилятор	10	3
Станок комбинированный SICAR Модели C300	12	6
Внутришлифовальный станок	8	5
Станок для шкантов	2,8	4
<b>1-фазный ПКР</b>		
Рольставни	4	3



### **1.3 Источники электрической энергии**

Снабжение электричеством осуществляется от электрической подстанции, которая находится на расстоянии 10м от здания предприятия. Подстанция предприятия в свою очередь запитана от главной понизительной подстанции находящейся в 1,3 километра от предприятия. Приходящее напряжение 10 кВ.

## **2 Расчет электрических нагрузок объекта**

При строительстве надежной системы электроснабжения главным этапом является расчет электрических нагрузок [1,13]. Электрические нагрузки металлообрабатывающего предприятия определяют выбор всех элементов системы электроснабжения: линий электропередачи, трансформаторных подстанций, питающих и распределительных сетей.

Завышение расчетных нагрузок приводит к перерасходу проводникового материала, увеличению мощности трансформаторов и следовательно, к ухудшению технико-экономических показателей электроснабжения.

Занижение нагрузок ведет к уменьшению пропускной способности электрических сетей, увеличению потерь мощности, и может вызвать нарушение нормальной работы силовых и ответственных электроприемников [14].

Неполная загрузка мощности электроприемников объясняется работой в разное время и особенностями труда рабочего персонала. В результате чего при расчетах номинальная мощность электроприемников гораздо больше, чем максимально расчетная мощность потребляемых приемников.

Для создания понятной и удобной системы, все данные будут сведены в сводную ведомость нагрузок.

### **2.1 Перевод электроприемников в трехфазный длительный режим работы**

Для дальнейших расчетов необходимо привести нагрузку однофазного ПКР(Повторно кратковременный режим) к ДР (длительному режиму работы). (Расчет для рольставней, два присоединяются к РП (Распределительному пункту), а третий – к ШРМ. Приведем пример расчета для электроприемника:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{п}} \overline{ПВ}, \quad (2.1)$$

$$P_{\text{ном}} = 4 \cdot \overline{0,25} = 2 \text{ кВт};$$

$$P_A = P_{\text{ф.нб}} = 2 \text{ кВт}$$

$$P_B = P_C = P_{\text{ф.наим.}} = 0 \text{ кВт}$$

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

$P_{\text{в}}$  – продолжительность включения;

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

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

Рассчитаем фазовую неравномерность нагрузки:

Н

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

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

В итоге,

$$P_{\text{у}} = 3P_{\text{ф.нб}}, \quad (2.3)$$

$$2 \cdot 3 = 6 \text{ кВт};$$

## 2.2 Расчет электрического освещения

Расчет освещения был выполнен в программе DIALux [2,15]. Освещение помещений выполнено светодиодными светильниками, они обеспечивают экономию электроэнергии, так же для них не нужно, как для люминесцентных, места хранения и специальной утилизации ламп. “LightingTechnologies”, марки LHT 1200 EM 5000K. Расчет осветительной нагрузки представлена в сводной ведомости, в таблице 2. Пример расчета освещения для цеха покраски:

Определяем площадь помещения:

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

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

Где а -ширина, м;

б – длина, м;

Определяем требуемое количество светильников:

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

$$N = \frac{300 \cdot 147,6 \cdot 1,5}{0,49 \cdot 2 \cdot 4469} = 11,52 \approx 12;$$

где E – требуемая горизонтальная освещенность,лк;

S – площадь помещения, м;

Kз – коэффициент запаса;

U – коэффициент использования;

Фл– световой поток одной лампы, лм;.

Таблица 2 – Сводная ведомость осветительной нагрузки

Помещение	S, м <sup>2</sup>	h, м	P <sub>н</sub> , кВт	Кол- во	P <sub>н</sub> ∑, лк	Еср. P., лк	Еср.Норм., лк
1	2	3	4	5	6	7	8
Основной цех металлообработки	1006,51	8	0,05	72	8,53	305	300
Штамповочное отделение	147,6	8	0,05	12	1,39	343	300
Склад готовой продукции	59,88	3,6	0,05	6	0,70	379	300

Продолжение таблицы 2

Складприемки материалов	37,75	3,6	0,05	1	0,12	87	75
Ремонтный бокс	37,48	3,6	0,05	1	0,12	87	75
Отделение покраски	36,47	3,6	0,05	1	0,12	89	75
Кладовая	16,25	3,6	0,05	1	0,12	147	75
Вентиляционная	46,80	3,6	0,05	1	0,12	74	20
Щитовая	23,29	3,6	0,05	2	0,23	225	150
ТП	36,51	3,6	0,05	1	0,12	89	50
Всего	1455,51			118	12,30		

Все помещения будут освещаться светодиодными светильниками Марки «Световые Технологии» серии LHT 1200 EM 5000K [3]. В основном цехе и штамповочном отделении установлены данные светильники на конструкции из перфорированного П-образного профиля подвешенного к потолку помещения металлическими лентами. Так же на всех выходах установлены аварийные светильники «MARS 2223-4 LED» с пиктограммой EXIT или стрелкой указания выхода, со встроенным аккумулятором, которые позволят указывать путь в течении 3ч, после прекращения подачи электрической энергии [16].

## 2.2 Характеристика электрических нагрузок

Пример расчета, для сводной ведомости нагрузок на примере медного распределительного шинпровода (для РП (распределительный пункт), и ЩО (Щит освещения) расчет был выполнен по аналогии)

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

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

Пример расчета мощности для токарного станка, подключенного к шинопроводу распределительному медному:

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

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

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

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

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;.

Общая мощность для шинопровода распределительного медного:

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

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

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

Общие параметры для ШРМ:

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

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

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

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

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

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

где  $K_{\text{и.ср}}$  - средний коэффициент использования группы электроприемников;

$$n_3 = F(n; m; K_{\text{и.ср}}; P_{\text{и}}) = F(25; >3; = 0,2; \text{переменная})$$

$$n_3 = \frac{(2 \cdot \sum_1^{25} \cdot P_{\text{и}})}{P_{\text{и.наиб}}}, \quad (2.13)$$

$$n_3 = 7,07;$$

$$K_{\text{м}} = F(K_{\text{и.ср}}; n_3) = F(0,2; 7,07) = 2,1$$

$$P_{\text{м}} = K_{\text{м}} \cdot P_{\text{см}}, \quad (2.14)$$

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

где  $K_{\text{м}}$  – коэффициент максимума активной нагрузки;

$$Q_{\text{м}} = K'_{\text{м}} \cdot Q_{\text{см}}, \quad (2.15)$$

$$Q_{\text{м}} = 68 \text{ кВар};$$

$$S_{\text{см}\Sigma} = \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2}, \quad (2.16)$$

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

где  $Q_{\text{м}}$  – максимальная реактивная нагрузка, квар;

Расчет потерь в трансформаторе:

$$\Delta P_{\text{Т}} = 0,02 \cdot S_{\text{м}} \text{ нн}, \quad (2.17)$$

$$\Delta P_{\text{Т}} = 0,02 \cdot 214,5 = 4,29 \text{ кВар};$$

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

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

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

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

Рассчитаем ток на РУ:

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

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

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

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

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

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

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



Таблица 3 – Сводная ведомость нагрузок по цеху

Сводная ведомость нагрузок по цеху																	
Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену						Нагрузка максимальная			
	P <sub>н</sub> , кВт	n	P <sub>н</sub> ∑, кВт	K <sub>и</sub>	Cosφ	Tgφ	m	P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар	S <sub>см</sub> , кВ*А	пэ	K <sub>м</sub>	K' <sub>м</sub>	P <sub>м</sub> , кВт	Q <sub>м</sub> , квар	S <sub>м</sub> , кВА	I <sub>м</sub> , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
РП1																	
Пресс горячий для щита VP-E25/13	15	3	45	0,2	0,50	1,73		9	15,57								
Станок ленточный плоскошлифовальный	3,7	2	7,4	0,2	0,50	1,73		1,48	2,56								
Автоматическая торцовочная линия с функцией оптимизации TRV1200S	6	2	12	0,2	0,50	1,73		2,4	4,2								
Рольставни	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																	
Рольставни	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

Продолжение таблицы 3

РПЗ																	
Покрасочная камера	4,5	2	9	0,2	0,50	1,73	—	1,8	3,12	3,6	—	—	—	1,8	3,12	3,6	5,5
ШПМ																	
Токарный станок	5,5	3	16,5	0,2	0,50	1,73		3,3	5,7								
Станок комбинированный SICAR Модели С300	12	6	72	0,2	0,50	1,73		14,4	24,9								
Четырехсторонний продольно-фрезерный станок OSTERMANN 180S	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								
Станок для шкантов	2,8	4	8,2	0,2	0,50	1,73		2,24	3,88								
Рольставни	4	1	4	0,1	0,75	0,88		0,8	0,35								
ВСЕГО по ШПМ	—	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 СС	-	-	5,9	0,90	0,95	0,33	-	8,1	2,75	9,7	-	-	-	8,1	2,75	9,66	15,7
Всего на ШНН								79,12	115,4	146	-	-	-	162,1	129,5	209,1	-
Потери														4,29	21,45	21,9	-
Всего на ВН														166,39	151,1	226,3	-

### 3 Расчет и выбор основных средств электроснабжения

#### 3.1 Обоснование выбора трансформаторной подстанции

Выберем ТП 10/0,4.

С учетом потерь расчетная мощность трансформатора должна быть не менее [4,17]:

$$S_T \geq S_{M(BH)}$$

$$S_{M(BH)} = 226,3 \text{ кВА}$$

Электрооборудование, установленное на данном предприятии, относится ко 2 и 3 категориям надежности электроснабжения. Из этого следует, что в соответствии с необходимыми условиями для электроснабжения может применяться трансформаторная подстанция с одним или двумя трансформаторами. Произведем расчеты обоих вариантов для выбора наиболее экономически выгодного решения [18].

Вариант 1: Один трансформатор ТМ250/10/0,4

$$R_T = 9,4 \text{ мОм} \quad Z_T = 28,7 \text{ мОм}$$

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

$$\Delta P_{XX} = 0,56 \text{ кВт} \quad U_{K3} = 4,5 \%$$

$$\Delta P_{K3} = 4,1 \text{ кВт} \quad i_{XX} = 1,7$$

$$K_3 = \frac{S_{HH}}{S_T}, \quad (3.1)$$

$$K_3 = \frac{211}{250} = 0,84;$$

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

$$R_T = 16,6 \text{ мОм} \quad Z_T = 45 \text{ мОм}$$

$$X_T = 41,7 \text{ мОм} \quad Z_T^{(1)} = 487 \text{ мОм}$$

$$\Delta P_{XX} = 0,44 \text{ кВт} \quad U_{K3} = 4,7 \%$$

$$\Delta P_{K3} = 2,65 \text{ кВт} \quad i_{XX} = 2,4 \%$$

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

### 3.1.1 Вариант подстанции с одним трансформатором

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:

$$Q'_{э1} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{сд} \quad (3.7)$$

$$Q'_{э1} = 140,7 - 0 = 140,7 \text{ квар};$$

$$Q''_{э1} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.8)$$

$$Q''_{э1} = 0,28 \cdot 167,6 = 47 \text{ квар};$$

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:  $Q_{э1}=47$  квар

Значения реактивной мощности во время минимальных нагрузок, обоснованных экономически:

$$Q'_{э2} = Q_{min} + Q_k, \quad (3.9)$$

$$Q'_{э2} = 63,3 + 0 = 63,3 \text{ квар};$$

где  $Q_k=0$

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

$$Q''_{э1} = Q_{min} - Q_{кд} = Q_{min} - (Q_p - Q''_{э1}), \quad (3.10)$$

$$Q''_{э1} = -30,4 \text{ квар};$$

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

Общая мощность КУ:

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

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

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

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

Соответственно, целесообразна установка регулируемых КУ [5,19].

Выберем число и мощность трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности.

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

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

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

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

$$Q_{\text{T}} = \sqrt{(N_{\text{T}} \cdot K_{\text{з}} \cdot S_{\text{н.т}})^2 - P_{\text{р}\Sigma}^2} \quad (3.14)$$

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

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ

$$Q_{\text{ку.н}} = Q_{\text{р}\Sigma} - Q_{\text{T}} \quad (3.15)$$

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

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  $\text{tg}\phi$  – его значение должно быть максимально близким к 0,33

Таблица 4 – Исходные данные

Параметры	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$ , кВА
Всего на НН без КУ	0,82	0,69	165,1	131,6	211,1

Определим расчетную мощность КУ

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_M \cdot \operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k, \quad (3.16)$$

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 165,1 \cdot 0,69 - 0,33 = 33,8 \text{ квар};$$

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

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

$\operatorname{tg}\varphi, \operatorname{tg}\varphi_k$  – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

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

Определим фактическое значение  $\operatorname{tg}\varphi_k$  и  $\cos\varphi_k$

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

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

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

Таблица 5 – сводная ведомость нагрузок

Параметр	$\cos\varphi$	$\operatorname{Tg}\varphi$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$ , кВА
Всего на НН без КУ	0,82	0,69	165,1	131,6	211,1

Продолжение таблицы 5

КУ				2x25	
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.

### 3.1.1 Вариант подстанции с двумя трансформаторами

Определим потери в трансформаторе:



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

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

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

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

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 [6]:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{сд}, \quad (3.28)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 166,7 - 0 = 166,7 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.29)$$

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

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 компенсации реактивной мощности.

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

$$Q_{\varepsilon н} = Q_{\varepsilon 1} - Q_p - Q_p \quad (3.34)$$

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

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

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

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

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  $\text{tg}\phi$  была произведена при рассмотрении однострансформаторной подстанцией. В данном случае расчет представляется аналогичным, следовательно, так же необходима установка двух компенсирующих устройств УКМ58-0,4-25-5-У3.

С учетом компенсации реактивной мощности коэффициент загрузки равен [20]:

$$K_3 = \frac{S_{HH}}{S_T}, \quad (3.38)$$

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

### 3.1.2 Выбор подстанции в соответствии с экономией

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

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

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

Сумма, требуемая на установку подстанции с трансформатором ТМ 250/10/0,4

$$Z_{KT\Pi} = E \cdot K_{T\Pi} + C \cdot \Delta P_T \quad (3.40)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Z_{общ1} = Z_{KT\Pi} + Z_{KY} \quad (3.45)$$

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

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

$$Z_{KT\Pi} = n \cdot E \cdot K_{T\Pi} + C \cdot \Delta P_T \quad (3.46)$$

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

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

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

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

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

$$Z_{\text{общ}2} = 272,4 + 46,21 = 318,6 \text{ тыс руб};$$

Сравним необходимые суммы для установки 1 и 2 варианта подстанции:

$$(Z_{\text{общ}1} = 287,81 \text{ тыс. руб}) < (Z_{\text{общ}2} = 318,6 \text{ тыс руб})$$

Как мы видим из сравнения, экономически выгоднее использовать трансформаторную подстанцию с одним трансформатором типа ТМ с двумя компенсирующими устройства УKM58-0,4-25-5У3. Схема цехового электроснабжения приведена в графической части. Произведем выбор электрооборудования и проводников для обеспечения цехового оборудования электроэнергией.

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

Вычисление токов короткого замыкания производится в различных точках электрической цепи. Для возможности расчетов необходимо знать параметры кабелей и аппаратов защиты на всех участках цепи.

Выбор проводников произведем по расчетным значениям номинальных и длительно допустимых токов [7].

#### **3.2.1 Выбор аппаратов защиты**

Все электрооборудование будет защищено автоматическими выключателями.

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;

$U_H$  – номинальное напряжение трансформатора, кВ;

Выбираем ВА 53-39-3

$$V_{н.а}=380\text{В}$$

$$I_{н.а}=630\text{А}$$

$$I_{н.р}=400\text{А}$$

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.

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  $P_H$  – мощность ЭД переменного тока, кВт;

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

$\eta_{д}$ -КПД ЭД, отн. Ед;

Выбираем ВА 51-25-3

$I_{н.р}=16\text{А}$

Линия ШНН -ЩО, SF1, линия без ЭД;

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

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

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

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

$$I_{п} = \frac{S_{н\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{н}}, \quad (3.52)$$

$$I_{п} = \frac{12,95}{1,73 \cdot 0,4} = 18,71 \text{ А};$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}$$

$$I_{н.р} \geq I_{п} = 18,71 \text{ А}$$

Выбираем ВА 51-25-3

$I_{н.р}=20\text{А}$

Линия ШРМ-Станок комбинированный SICAR Модели С300, SF линия  
с одним ЭД

$$I_{д} = \frac{P_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (3.53)$$

$$I_{д} = \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,85} = 40 \text{ А};$$

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

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
Пресс горячий для щита VP-E25/13	ВА 52Г-31-3	63,77	80
Автоматическая торцовочная линия с функцией оптимизации TRV1200S	ВА 51-31-3	25,5	31,5
Покрасочная камера	ВА 51-25-3	19,4	20
Станок ленточный плоскошлифовальный	ВА 51-25-3	15,7	16
Четырехсторонний продольно-фрезерный станок OSTERMANN 180S	ВА 52Г-31-3	40.8	50
Токарный станок	ВА 52-31-3	23.4	25
Вентилятор	ВА 52Г-31-3	42.5	50
Внутришлифовальный станок	ВА 52-31-3	34	40
Станок для шкантов	ВА 51-25-3	11.9	12,5
Рольставни	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



$$I_{\text{ВН}} = \frac{S_{\text{T}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}, \quad (3.54)$$

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

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 ( $\text{A}/\text{мм}^2$ ) 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  $I_{\text{д.т}}=75 \text{ A}$ .

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

### 3.2.2 Выбор распределительного шинпровода

По таблице 3 выбираем:

По расчетному  $I_{\text{р}}=161,9 \text{ A}$ , Выбираем ШРМ 4-250-32-1У3 (35X5)

$$U_{\text{н.ш.}} = 380 \text{ В}$$

$$I_{\text{н.ш.}} = 250 \text{ A}$$

### 3.2.3 Выбор кабельных линий

В помещениях с нормальной зоной опасности при отсутствии механических повреждений. В целях защиты от возгорания и задымления для прокладки принимается кабель ВВГнг-LS,  $K_{\text{зщ}}=1$ [8].

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

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

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

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

$$I_{\text{доп}}=625\text{А}$$

Аналогичным способом выбираем кабели до шинопровода и всех распределительных пунктов (таблица 8):

Таблица 8 – Кабели РП и ШРМ

Линия	Выбранный кабель/шина	Расчетный ток, А	Допустимый ток кабеля/шины, А
ШНН-ШРМ	ВВГ <sub>нг</sub> -LS 2x(4x35)	250	330
ШНН-РП1	ВВГ <sub>нг</sub> -LSГ 4x10	60	61
ШНН-РП2	ВВГ <sub>нг</sub> -LS 4x25	200	214
ШНН-РП3	ВВГ <sub>нг</sub> -LS 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- Станок комбинированный SICARМодели С300	ВВГ <sub>нг</sub> -LS 3x16	85	87
ШРМ -Токарный станок	ВВГ <sub>нг</sub> -LS 3x4	33,75	37

Продолжение таблицы 9

ШРМ - Четырехсторонний продольно-фрезерный станок OSTERMANN 180S	ВВГнг- LS4x16	67,5	81
ШРМ - Внутришлифовальный станок	ВВГнг-LS 4x10	54	61
ШРМ -Станок для шкантов	ВВГнг-LS 3x1.5	15	21
ШРМ -Рольставни	ВВГнг- LS3x2.5	25	33
РП1-Пресс горячий для щита VP-E25/13	ВВГнг-LS 3x(4x6)	108	135
РП1-Станок ленточный плоскошлифовальный	ВВГнг-LS 4x2.5	19,2	26
РП1-Автоматическая торцовочная линия с функцией TRV1200S	ВВГнг- LS3x4	37,8	44
РП2-Вентилятор	ВВГнг-LS 3x16	67,5	87
РП3-Покрасочная камера	ВВГнг-LS 3x2.5	24	28

### 3.3 Расчет токов короткого замыкания

Во время эксплуатации электрического оборудования всегда имеется вероятность появления короткого замыкания. Полностью избежать появления КЗ в сети невозможно, именно поэтому важно создать надежные системы защиты. А для выбора и проверки элементов защиты и используется расчет токов КЗ [9,10].

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

Основными возможными причинами возникновения короткого замыкания в сети являются: Износ и повреждения изоляции, неисправности электрооборудования, попадание и накапливание пыли или любого другого токопроводящего вещества на контактах, повышенное напряжение в сети и возможные ошибки обслуживающего персонала.

Уменьшение тяжести и последствий при появлении короткого замыкания, является одной из основных задач при построении 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).

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

Длины кабелей, ШРА и ВЛ:

$$L_{ВН}=1,3 \text{ км}$$

$$L_{ш}=2 \text{ м}$$

$$L_{КЛ1}=13 \text{ м}$$

$$L_{ШРМ}=9 \text{ м}$$

$$L_{КЛ2}=7 \text{ м}$$

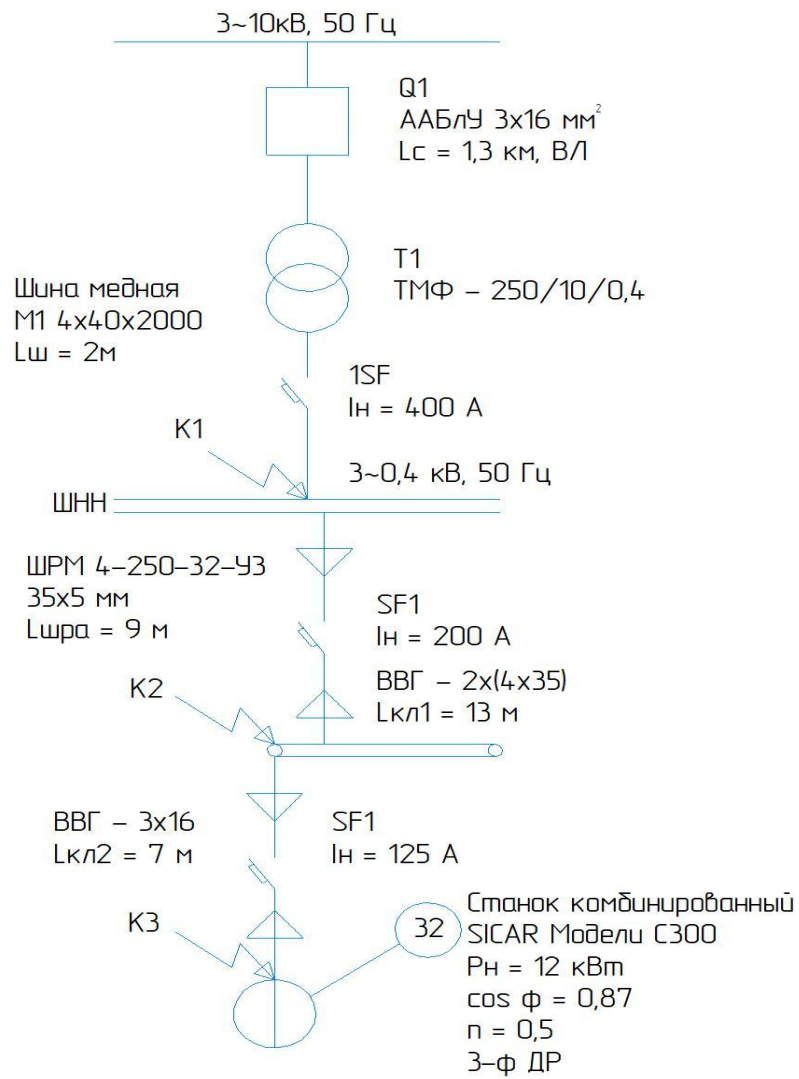


Рисунок 2 - Расчетная схема ЭСН

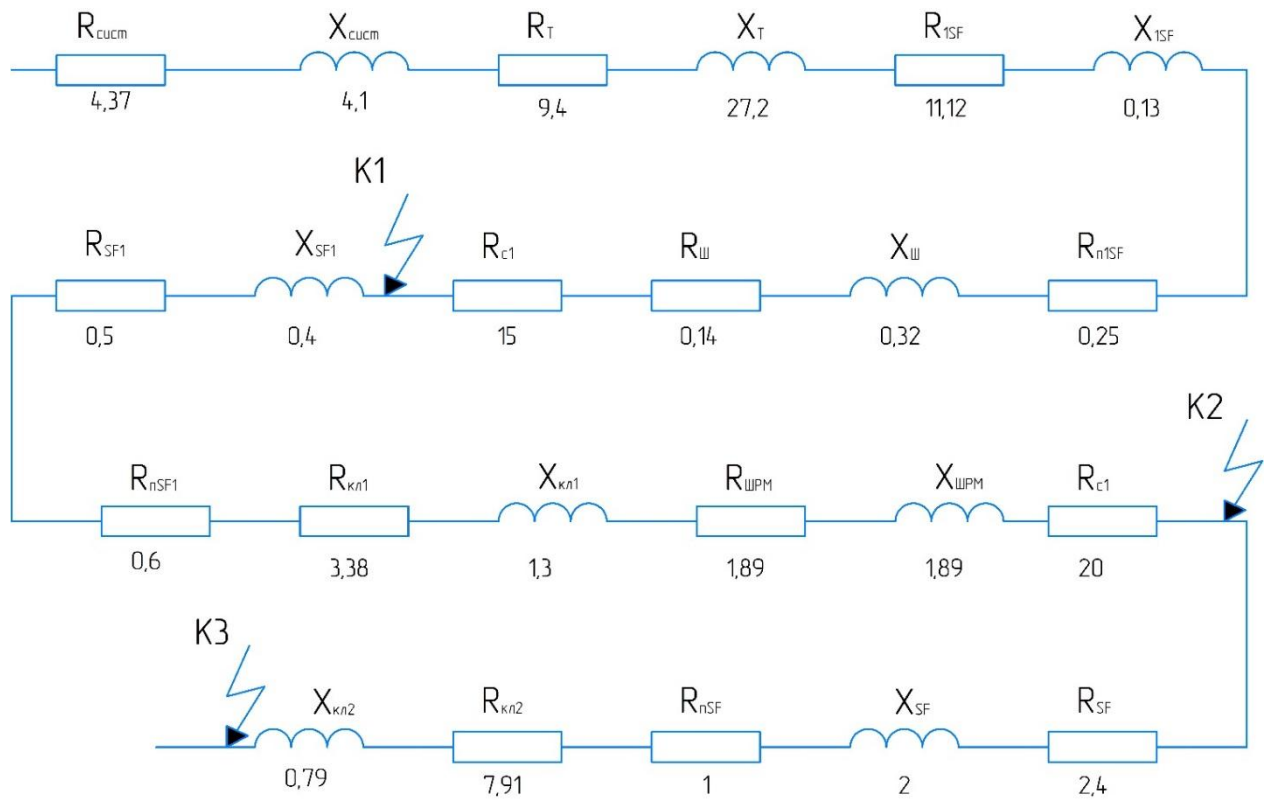


Рисунок 3 -Схема замещения

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;  $I_{\text{доп}}=75 \text{ A}$

$$x_0 = 1,95 \text{ Ом/км}$$

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

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

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

$$R'_C = r_0 \cdot L_c, \quad (3.59)$$

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

Сопротивление приводится к НН:

$$R_C = R'_C \cdot \frac{V_{\text{НН}}^2}{V_{\text{ВН}}^2}, \quad (3.60)$$

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

$$X_C = X'_C \cdot \frac{V_{\text{НН}}^2}{V_{\text{ВН}}^2}, \quad (3.61)$$

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

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:

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

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

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

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

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

Для кабельных линий

КЛ1:

$$r'_0 = 0,51 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; \quad x'_0 = 0,095 \frac{\text{мОм}}{\text{м}};$$

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 шинопровода 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, показанную на рисунке 4.

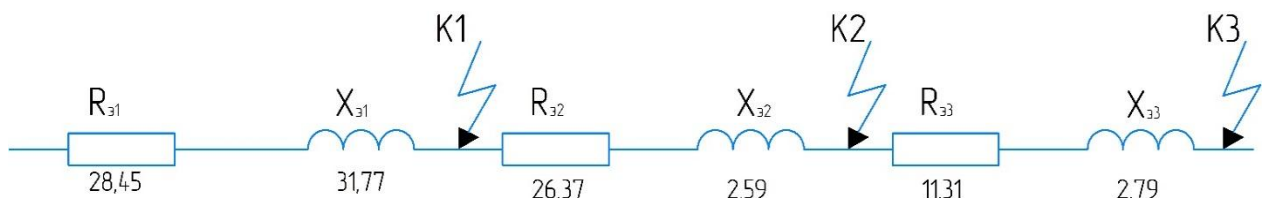


Рисунок 4 - Упрощенная схема замещения

$$R_{31} = R_{\text{сист}} + R_{\text{T}} + R_{1SF} + R_{n1SF} + R_{\text{Ш}} + R_{c1}, \quad (3.70)$$

$$R_{31} = 4,37 + 9,4 + 11,12 + 0,25 + 0,14 + 0,14 = 28,45 \text{ МОм};$$



$$X_{\text{Э1}} = X_{\text{сист}} + X_{\text{T}} + X_{1\text{SF}} + X_{\text{Ш}}, \quad (3.71)$$

$$X_{\text{Э1}} = 4,1 + 27,2 + 0,13 + 0,32 = 31,77 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{Э2}} = R_{\text{SF1}} + R_{n\text{SF1}} + R_{\text{КЛ1}} + R_{\text{ШРМ}} + R_{\text{C2}}, \quad (3.72)$$

$$R_{\text{Э2}} = 0,5 + 0,6 + 3,38 + 1,89 + 20 = 26,37 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{Э2}} = X_{\text{SF1}} + X_{\text{КЛ1}} + X_{\text{ШРМ}} \quad (3.73)$$

$$X_{\text{Э2}} = 0,4 + 1,3 + 1,89 = 2,59 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{Э3}} = R_{\text{SF}} + R_{n\text{SF}} + R_{\text{КЛ2}}, \quad (3.74)$$

$$R_{\text{Э3}} = 2,4 + 1 + 7,91 = 11,31 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{Э3}} = X_{\text{SF}} + X_{\text{КЛ2}} \quad (3.75)$$

$$X_{\text{Э3}} = 2 + 0,79 = 2,79 \text{ мОм};$$

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

$$R_{\text{К1}} = R_{\text{Э1}} = 28,45 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{К1}} = X_{\text{Э1}} = 31,77 \text{ мОм};$$

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

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

$$R_{\text{К2}} = R_{\text{Э1}} + R_{\text{Э2}}, \quad (3.78)$$

$$R_{\text{К2}} = 28,45 + 26,37 = 54,82 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{К2}} = X_{\text{Э1}} + X_{\text{Э2}}, \quad (3.79)$$

$$X_{\text{К2}} = 31,77 + 2,59 = 34,36 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{К2}} = \sqrt{R_{\text{К2}}^2 + X_{\text{К2}}^2}, \quad (3.80)$$

$$Z_{\text{К2}} = \sqrt{54,82^2 + 34,36^2} = 64,7 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{К3}} = R_{\text{К2}} + R_{\text{Э3}}, \quad (3.81)$$

$$R_{\text{К3}} = 54,82 + 11,31 = 66,13 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{К3}} = X_{\text{К2}} + X_{\text{Э3}}, \quad (3.82)$$

$$X_{\text{К3}} = 34,36 + 2,79 = 37,15 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{К3}} = \sqrt{R_{\text{К3}}^2 + X_{\text{К3}}^2}, \quad (3.83)$$

$$Z_{\text{К3}} = \sqrt{66,13^2 + 37,15^2} = 75,85 \text{ мОм};$$

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

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

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

### 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:

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

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

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

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

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

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

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

$$I_{yK1} = 5,42 \text{кА};$$

$$I_{yк2} = q_2 \cdot I_{к2}^3 \quad (3.89)$$

$$I_{yк2} = 3,4 \text{кА};$$

$$I_{yк3} = q_3 \cdot I_{к3}^3, \quad (3.90)$$

$$I_{yк3} = 2,9 \text{кА};$$

$$i_{yк1} = \bar{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{к1}^3, \quad (3.91)$$

$$i_{yк1} = 1,41 \cdot 1 \cdot 5,42 = 7,64 \text{кА};$$

$$i_{yк2} = \bar{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{к2}^3, \quad (3.92)$$

$$i_{yк2} = 1,41 \cdot 1 \cdot 3,4 = 4,8 \text{кА};$$

$$i_{yк3} = \bar{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{к3}^3 \quad (3.93)$$

$$i_{yк3} = 1,41 \cdot 1 \cdot 2,9 = 4,1 \text{кА};$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\bar{3}}{2} \cdot I_{к1}^3, \quad (3.94)$$

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

$$I_k^{(2)} = \frac{\bar{3}}{2} \cdot I_{к2}^3, \quad (3.95)$$

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

$$I_k^{(2)} = \frac{\bar{3}}{2} \cdot I_{к3}^3, \quad (3.96)$$

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

Таблица 10 – Токи КЗ

Точка КЗ	R <sub>к</sub> , МОм	X <sub>к</sub> , МОм	Z <sub>к</sub> , МОм	R <sub>к</sub> /X <sub>к</sub>	K <sub>у</sub>	q	I <sub>к</sub> <sup>(3)</sup> , кА	i <sub>у</sub> , кА	I <sub>∞</sub> <sup>(3)</sup> , кА	I <sub>к</sub> <sup>(2)</sup> , кА	Z <sub>п</sub> , МОм	I <sub>к</sub> <sup>(1)</sup> , 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).

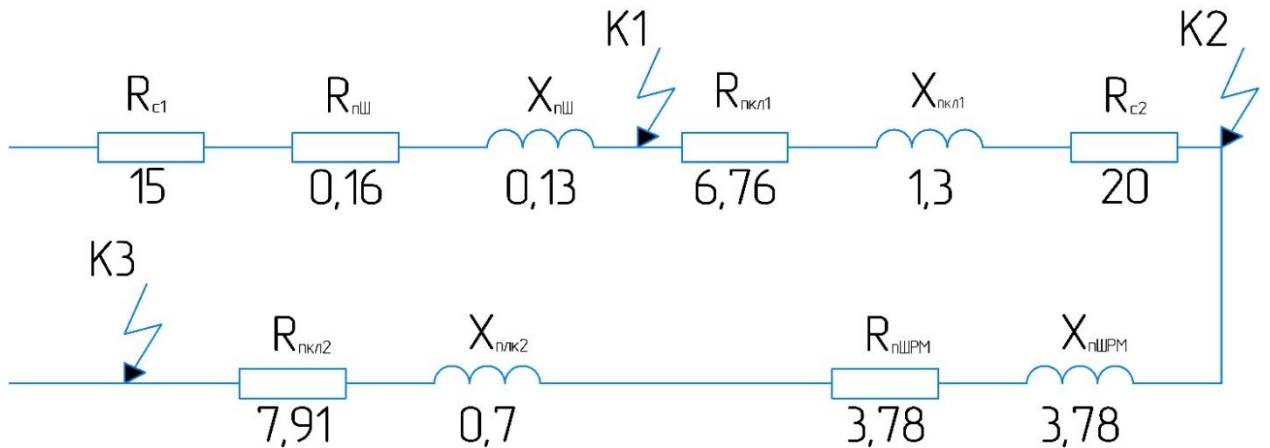


Рисунок 5 - Схема замещения для 1-фазных токов КЗ

Для кабельных линий:

$$X_{пкл1} = x_{0п} \cdot L_{КЛ1}, \quad (3.97)$$

$$X_{пкл1} = 0,1 \cdot 13 = 1,3 \text{ мОм};$$

$$R_{пкл1} = 2r_0 \cdot L_{КЛ1}, \quad (3.98)$$

$$R_{пкл1} = 2 \cdot 0,26 \cdot 13 = 6,76 \text{ мОм};$$

$$X_{пкл2} = x_{0п} \cdot L_{КЛ2}, \quad (3.99)$$

$$X_{пкл2} = 0,1 \cdot 7 = 0,7 \text{ мОм};$$

$$R_{пкл2} = 2r_0 \cdot L_{КЛ2}, \quad (3.100)$$

$$R_{пкл2} = 1,13 \cdot 7 = 7,91 \text{ мОм};$$

Для медных шин:

$$R_{пш} = r_{0пш} \cdot L_{ш}, \quad (3.101)$$

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

$$X_{пш} = x_{0пш} \cdot L_{ш}, \quad (3.102)$$

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

Для ШРМ:

$$R_{пшрм} = r_{0пшрм} \cdot L_{шрм}, \quad (3.103)$$

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

$$X_{пшрм} = x_{0пшрм} \cdot L_{шрм}, \quad (3.104)$$

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

$$Z_{\pi 1} = 15 \text{ мОм};$$

$$R_{\pi 2} = R_{c1} + R_{\text{пкЛ1}} + R_{\text{пШ}} + R_{\text{пШРМ}} + R_{c2}, \quad (3.105)$$

$$R_{\pi 2} = 15 + 6,76 + 0,16 + 3,78 + 20 = 45,7 \text{ мОм};$$

$$X_{\pi 2} = X_{\text{пкЛ1}} + X_{\text{пШ}} + X_{\text{пШРМ}}, \quad (3.106)$$

$$R_{\pi 2} = 1,3 + 0,126 + 3,78 = 5,21 \text{ мОм};$$

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

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

$$R_{\pi 3} = R_{\pi 2} + R_{\text{пкЛ2}}, \quad (3.108)$$

$$R_{\pi 3} = 45,7 + 7,91 = 53,61 \text{ мОм};$$

$$X_{\pi 3} = X_{\pi 2} + X_{\text{пкЛ2}}, \quad (3.109)$$

$$X_{\pi 3} = 5,21 + 0,7 = 5,91 \text{ мОм};$$

$$Z_{\pi 3} = \sqrt{R_{\pi 3}^2 + X_{\pi 3}^2}, \quad (3.110)$$

$$Z_{\pi 3} = \sqrt{53,61^2 + 5,91^2} = 53,93 \text{ мОм};$$

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

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

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{V_{\text{кф}}}{\frac{Z_{\Gamma}^{(1)}}{3} + Z_{\pi 2}}, \quad (3.112)$$

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

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

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

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

### 3.4 Обеспечение безопасности жизнедеятельности

В целях защиты человека от поражения электрическим током, выполним расчет устройства защитного заземления. Состоять оно будет из арматур, вбитых в землю вертикально и сварены между собой стальной полосой. Вся конструкция будет закопана в траншею на глубину 0,7 метра. Расчет устройства защитного заземления выполнен в соответствии с ПУЭ [11,12].

Найдем сопротивление электрода:

$$R_э = \frac{\rho \cdot K_э}{2 \cdot \pi \cdot l_э} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_э}{d_э} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot h_э \cdot l_э}{4 \cdot h_э \cdot l_э}, \quad (3.114)$$
$$R_э = \frac{300 \cdot 1,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \ln \frac{2 \cdot 3}{0,0475} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 0,0475}{4 \cdot 2 - 0,0475} = 125,3 \text{ Ом};$$

где  $l_э$  - длина электрода, м;

$d_э$  - диаметр электрода, м;

$h_э$  - глубина заложения электрода, м;

$\rho$  - удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$K_э$  - повышающий коэффициент электрода;

Рассчитаем необходимое число электродов:

$$n' = \frac{R_э}{R_u \cdot \eta_э}, \quad (3.115)$$
$$n' = \frac{125,3}{12 \cdot 0,7} = 14,9 = 15 \text{ шт};$$

где  $R_u$  - допустимое сопротивление заземляющего устройства с учетом удельного сопротивления грунта, Ом;

$\eta_э$  - коэффициент использования заземлителей.

Определим длину соединяющей линии:

$$l_n = a \cdot n', \quad (3.116)$$
$$l_n = 4,8 \cdot 15 = 72 \text{ м};$$

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:

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

$$R_\Sigma = \frac{125,3 \cdot 8,3}{125,3 \cdot 0,57 + 8,3 \cdot 0,7 \cdot 15} = 6,3 \text{ Ом};$$

Произведем проверку выполнения условия:

$$R_\Sigma \leq R_u,$$

$$6,3 \leq 12 \text{ Ом};$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для создания надежной системы электроснабжения для металлообрабатывающего предприятия были использованы стандартные методы расчетов согласно методическим указаниям.

Используя начальные данные были рассчитаны значения, указанные в таблице «Сводная ведомость нагрузок по цеху», необходимые для выбора Трансформатора, аппаратов защиты и кабелей. Общая нагрузка составила 226,3 кВА.

Исходя из этого был произведен расчет силового трансформатора. Выбор стоял между одно и двух трансформаторной подстанции. Оба варианта удовлетворяли условия, но так как вариант с одним трансформатором ТМ 250 10/0,4 был более выгоден с экономической точки зрения, выбор остановился на нем.

После выбора трансформаторной подстанции были рассчитаны аппараты защиты, которые нужны для защиты оборудования и кабельных линий от токов короткого замыкания и перегрузки.

Для присоединения главной понизительной подстанции с нашим силовым трансформатором был выбран кабель из шитого полиэтилена, он обеспечит долговечную и надежную защиту токопроводящих жил. При расчете кабельных линий, связывающих щитовую и всё оборудование, был использован кабель ВВГнг (LS) который обеспечит надежную защиту, так как он не горюч и имеет низкое дымо-выделение в случае короткого замыкания.

Расчет токов короткого замыкания был выполнен на напряжении 0,4 кВ.

Таким образом, расчет системы электроснабжения завершен и соответствует всем необходимым нормам и стандартам.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Энергосбережение в системах промышленного электроснабжения. Теплоэнергетик. М. : Интехэнерго-Издат, 2014. 304с.
2. Fernando Pacheco-Torgal Claes Granqvist Bjorn Jelle, Cost-Effective Energy Efficient Building Retrofitting 1st Edition/ Woodhead Publishing, 2017. 632 pages.
3. Godfrey Boyle, Renewable Energy: Power for a Sustainable Future/ OUP Oxford; 3 edition, 13 Sept. 2012. 584 pages.
4. Bob Everett, Stephen Peake, Janet Ramage, Energy Systems and Sustainability: Power for a Sustainable Future/OUP Oxford; 2 edition, 2013. - 672 pages.
5. Khan S. Industrial power systems / S. Khan, S. Khan, G. Ahmed. – Boca Raton: CRC Press, 2016.
6. Вахнина В. В. Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения. /Электронное учебно- методическое пособие. М. : Тольятти, 2016.
7. Сибикин Ю.Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий: учебное пособие. М. : 2014. 414 с.
8. Карманова Т.Е. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения: Учебное пособие/Учреждение образования «Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова», 2015.
9. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. М.: ФОРУМ : ИНФРА М, 2010. 214 с.
10. РФ. Росстандарт. ГОСТ Р 50786-2012. Станки металлообрабатывающие малогабаритные. Требования безопасности : Введ. 2013-03-02. М., Стандартинформ, 2013.

11. 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.
12. Внутрицеховое электроснабжение [Электронный ресурс] : – URL [https://studopedia.ru/4\\_114193\\_vnutritsehovoe-elektrosnabzhenie.html](https://studopedia.ru/4_114193_vnutritsehovoe-elektrosnabzhenie.html) (дата обращения 12.05.19)
13. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие. М. : Форму. Инфра-М, 2014. 596с.
14. Суворин А.В. Электрические схемы электроустановок. Составление и монтаж: Практическое пособие. М. : Феникс, 2015. 544с.
15. Сивков А.А., Сайгаш А. С., Герасимов Д. Ю. Основы электроснабжения: Учебное пособие. М. : Юрайт, 2016. 174с.
16. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М. : КноРус, 2016. 368с.
17. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие. М. :Academia, 2013. 320с.
18. Хорольский В.Я. Таранов М. А. Надежность электроснабжения: Учебное пособие. М. : ДРОФА, 2013. 128с.
19. Сибкин Ю.Д. Сибикин М. Ю. Яшков В. А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебное пособие. М. : Форум : Инфра-М, 2015. 368с.
20. Кудрин Б.И. Электроснабжение: Учебник. М. : Academia, 2015. 352с.