

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение предприятия по производству полимерной продукции

Обучающийся

Д.Н. Горбунов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Л. Спиридонов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе на тему «Электроснабжение предприятия по производству полимерной продукции» рассматривается разработка решений по созданию надежной и энергоэффективной системы электроснабжения предприятия по производству полимерной продукции.

Объектом исследования в представленной работе является производство полимерной продукции в г. Самара.

Предметом исследования – система электроснабжения предприятия по производству полимерной продукции.

Целью исследования заключается в разработке решений по созданию надежной и энергоэффективной системы электроснабжения предприятия по производству полимерной продукции.

Таким образом, при выполнении выпускной квалификационной работы будут решены следующие задачи:

- сбор общих сведений об объекте исследования;
- обоснование схемы электроснабжения;
- расчет актуальной нагрузки производства;
- выбор силовых трансформаторов подстанции;
- выбор линий электроснабжения;
- выбор оборудования системы электроснабжения.

В результате выполнения работы проведены расчеты низковольтных и высоковольтных линий, выбраны трансформаторы, рассчитаны электрические нагрузки, потери напряжений в линиях, выбраны сечения кабелей.

Данная бакалаврская работа в целом состоит из пояснительной записки в количестве 44 страниц, которая имеет 21 таблицу с итогами произведенных вычислений, 4 иллюстрации в виде рисунков. В дополнении к работе прилагаются 6 чертежей формата А1.

## Содержание

Введение.....	5
1 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок .....	7
1.1 Расчёт групповой активной нагрузки 3-фазных приёмников электричества с длительным режимом работы.....	7
1.2 Расчёт групповой активной нагрузки 3-фазных приёмников электричества с повторным кратковременным режимом работы .....	8
1.3 Расчёт групповой активной нагрузки 1-фазных приёмников электричества с длительным режимом работы.....	9
1.4 Расчёт активных, реактивных и полных мощностей приёмников электричества за наиболее загруженную смену .....	10
1.5 Схема электроснабжения мастерской.....	11
1.6 Расчёт среднего коэффициента использования и показателя силовой сборки.....	13
1.7 Расчёт максимальных токов на распределительных устройствах .....	15
2 Расчёт электрического освещения предприятия.....	19
3 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций с учётом компенсации реактивной мощности .....	24
3.1 Расчёт мощности трансформатора без компенсирующего устройства .....	24
3.2 Расчёт и выбор компенсирующего устройства.....	24
3.3 Расчёт и выбор трансформатора с учётом компенсирующего устройства .....	25
4 Выбор схемы внутрицехового электроснабжения .....	28
5 Предварительный выбор электрооборудования и проводников.....	30
5.1 Выбор аппаратов защиты .....	30
5.2 Выбор линии электроснабжения, шинпровода .....	31

5.3 Подбор электрооборудования внутреннего электроснабжения мастерской .....	32
5.4 Выбор трансформаторов тока .....	33
6 Расчёт токов короткого замыкания .....	34
6.1 Расчёт параметров схемы замещения .....	36
6.2 Расчёт токов короткого замыкания в трёх точках.....	39
6.2.1 Расчёт короткого замыкания в точке КЗ1 .....	39
Заключение .....	43
Список используемых источников и используемой литературы.....	44

## Введение

Электроснабжение промышленного предприятия – это процесс передачи электроэнергии от источника питания к потребителям, состоящим из электроприемников, объединенных общим технологическим процессом [1].

Электрическая энергия для снабжения промышленного предприятия передается от главной понижающей подстанции (ГПП), классом напряжения 220(35) кВ/10 кВ с дальнейшей ее передачей в трансформаторные подстанции предприятия или цехов для понижения напряжения до уровня 380 В с целью питания приемников.

В системе электроснабжения промышленного предприятия мощность передается по линиям электропередачи: воздушным и кабельным. До ввода в вводно – распределительное устройство предприятия используются воздушные линии электропередач, а внутри цехов прокладываются кабельные линии [21].

Питание кабельных линий осуществляется через низковольтные автоматические выключатели, рубильники и предохранители, которые монтируются в главном распределительном щите [6].

Проектирование системы электроснабжения предприятия является комплексной задачей, позволяющей познакомиться с основополагающими пунктами курсового проектирования, расчетами электрических нагрузок, выбора компенсирующих устройств и устройств защиты, которые обуславливают нормальные условия функционирования цеха и его развитие [2].

Цель работы – выполнить расчеты и спроектировать систему электроснабжения промышленного предприятия по производству полимерных изделий. Электроприемники данного (ЭП) предприятия относятся ко второй категории надежности электроснабжения, перерыв в питании которых допускается на время осуществления переключения на резервную секцию шин через замыкание секционного разъединителя.

Питающая подстанция является двухтрансформаторной, в нормальном режиме питание каждой группы приемников осуществляется от своей секции шин 0,4 кВ. ЭП подразделяются на приемники с длительным режимом работы и на приемники с повторно – кратковременным режимом работы, нагрузка в данной работе делится на однофазную и трехфазную.

Задачи выпускной квалифицированной работы:

- составить схему электроснабжения;
- осуществить равномерное распределение нагрузок по секциям шин;
- рассчитать электрические нагрузки электроприемников (ЭП);
- составить сводную ведомость нагрузок по производству;
- выбрать компенсирующие устройства и трансформаторы;
- выбрать защитную аппаратуру ЭП
- осуществить выбор проводящие линии ЭСН;
- произвести расчет токов короткого замыкания.

## **1 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок**

Расчет ожидаемых электрических нагрузок является первоначальным этапом при проектировании системы электроснабжения предприятий, цехов и т.д. [7]. Однако, данный этап проектирования является одним из основных и сложных, так как требует первоначальное определение схемы электроснабжения предприятия, принцип подключения ЭП к сети, что определяет расчетное значение ожидаемой электрической нагрузки по предприятию (цеху).

Расчетное значение ожидаемой электрической нагрузки по предприятию в свою очередь определяет установленную мощность устанавливаемых трансформаторов в ТП.

В связи с этим, в работе расчет электрической нагрузки выполним в следующей последовательности:

- проведем анализ ЭП;
- разделим все ЭП по режиму работы;
- обеспечим равномерное распределение ЭП для трансформаторов ТП;
- рассчитаем отдельно силовую и осветительную нагрузку;
- определим итоговую величину ожидаемой электрической нагрузки за самую загруженную схему по предприятию [2].

### **1.1 Расчёт групповой активной нагрузки 3-фазных приёмников электричества с длительным режимом работы**

Необходимо рассчитать групповую активную нагрузку ЭП по следующей формуле:

$$P_{ГП1} = P_{П} \cdot n \quad (1)$$

Таблица 2 - Групповые нагрузки 3-фазных приёмников электричества ДР

№ ЭП	Наименования электрооборудования	$P_{П}$ , кВт	$n$	$P_{ГР}$ , кВт
1	2	3	4	5
1	Установка производства полимера	50	1	50
2	Насос	5	1	5
3	Система контроля циркуляции воздуха	4,5	2	9
4	Термические установки	11	2	22
9	Электрический тэны	2	1	4
12	Формовочная машина	6	2	12
13	Электроплита	5	1	5
14	Станок токарный	2,5	3	7,5

Выполним расчет групповой нагрузки.

### 1.2 Расчёт групповой активной нагрузки 3-фазных приёмников электричества с повторным кратковременным режимом работы

Нагрузку 3-фазного повторного кратковременного режима необходимо привести к длительному режиму по формуле [3]:

$$P_H = P_{П} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (2)$$

Таблица 3 - Электрические повторные кратковременные нагрузки 3-фазных приёмников

№ ЭП	Наименование электрооборудования	$P_{П}$ , кВт	ПВ	$P_H$
1	2	3	4	5
5	Электротали	10	40%	6,3



Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5
6	Кран-балка	5	25%	5
10	Сварочные агрегаты	27,5	60%	7,75

Выполним расчет активной нагрузки 1-фазных приёмников.

### 1.3 Расчёт групповой активной нагрузки 1-фазных приёмников электричества с длительным режимом работы

Нагрузку 1-фазного длительного режима можно найти по формуле:

$$P_D = S_H \cdot \cos\phi \quad (3)$$

Таблица 4 - Электрические нагрузки 1-фазных приёмников

№ ЭП	Наименование электрооборудования	$S_H$	$\cos\phi$
1	2	3	4
7	Электродотёл	4,5	0,5
8	Электронагреватели	3	1
11	Наждачный станок	1,5	0,4

При помощи формулы 4 и 5, нагрузку 1-фазного длительного режима, включённую на линейное напряжение, приводим к условной 3-фазной мощности:

$$P_B = P_{\phi.HB} = \frac{2P_D + 2P_D}{2} = 2P_D \quad (4)$$

$$P_A = P_A = P_{\phi.HM} = \frac{P_D + 2P_D}{2} = 1,5P_D \quad (5)$$

Рассчитаем значение неравномерности по формуле:

$$H = \frac{P_{\phi.HB} - P_{\phi.HM}}{P_{\phi.HM}} \cdot 100 \quad (6)$$

Установленную мощность сварочного трансформатора рассчитаем по формуле:

$$P_V^{(3)} = 3 \cdot P_{\phi.HB}^{(1)} \quad (7)$$

Проведем расчеты активных, реактивных и полных мощностей по предприятию за наиболее загруженную смену.

#### **1.4 Расчёт активных, реактивных и полных мощностей приёмников электричества за наиболее загруженную смену**

Для нахождения средней активной, реактивной и средней полной мощностей за наиболее нагруженную смену используем формулы 8, 9, 10 соответственно [7].

$$P_{CM(1)} = K_{II} \cdot P_{ГП1} \quad (8)$$

$$Q_{CM(1)} = P_{CM(1)} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (9)$$

$$S_{CM(1)} = \sqrt{P_{CM(1)}^2 + Q_{CM(1)}^2} \quad (10)$$

Таблица 5 – Список мощностей при наибольшей загрузке предприятия

Наименования электрооборудования	$P_{ГР}$ , кВт	$P_{СМ}$ , кВт	$Q_{СМ}$ , квар	$S_{СМ}$ , кВА
Установка производства полимера	50	32,5	24,4	40,7
Насос	5	3,25	2,4	4
Система контроля циркуляции воздуха	9	1,8	1,35	2,3
Линия фасовки и сортировки	22	4,4	10,1	11
Электротали	10	3	5,19	6
Кран-балка	5	1,25	2,2	2,5
Электрические тэны	4	0,68	0,8	1
Сварочные агрегаты	27,5	3,85	6,7	7,7
Формовочная машина	12	6,6	5,8	8,8
Электроплита	5	0,85	1	1,3
Станок токарный	7,5	1,5	1,8	2,3

На основании полученных расчётных величин, выполним распределение нагрузки по предприятию.

### 1.5 Схема электроснабжения производства

Так как в дальнейшем предполагается электроснабжение станочного участка с дополнительной нагрузкой от трансформаторной подстанции, выбираем двух трансформаторную подстанцию [11]. Исходя из этого факта, необходимо равномерно распределить нагрузку по секциям шин.

Таблица 6 - Распределение нагрузки по секциям

Секция 1	Нагрузка приведённая, кВт		Секция 2
ШРА 1	ШРА 2		
Установка производства полимера	50	22	Линия фасовки и сортировки
Насос	5	10	Электротали
Система контроля циркуляции воздуха	9	5	Кран-балка
Электродотёл	4,5	4	Электрические тэны

Продолжение таблицы 6

ЩРА 1		ЩРА 2	
Электронагреватели	3	27,5	Сварочные агрегаты
-	-	1,5	Наждачный станок
-	-	12	Формовочная машина
-	-	5	Электроплита
ЩО	-	7,5	Станок токарный
Осветительные установки	12	-	-
ИТОГО	93	95	-

Нагрузки распределены на шины равномерно, для упрощения работы сети, а также исключения возникновения ошибок при расчётах различных шин и необходимости закупки разного оборудования [3].

Далее для представления питающей сети, построим схему присоединения к шинам потребителей.

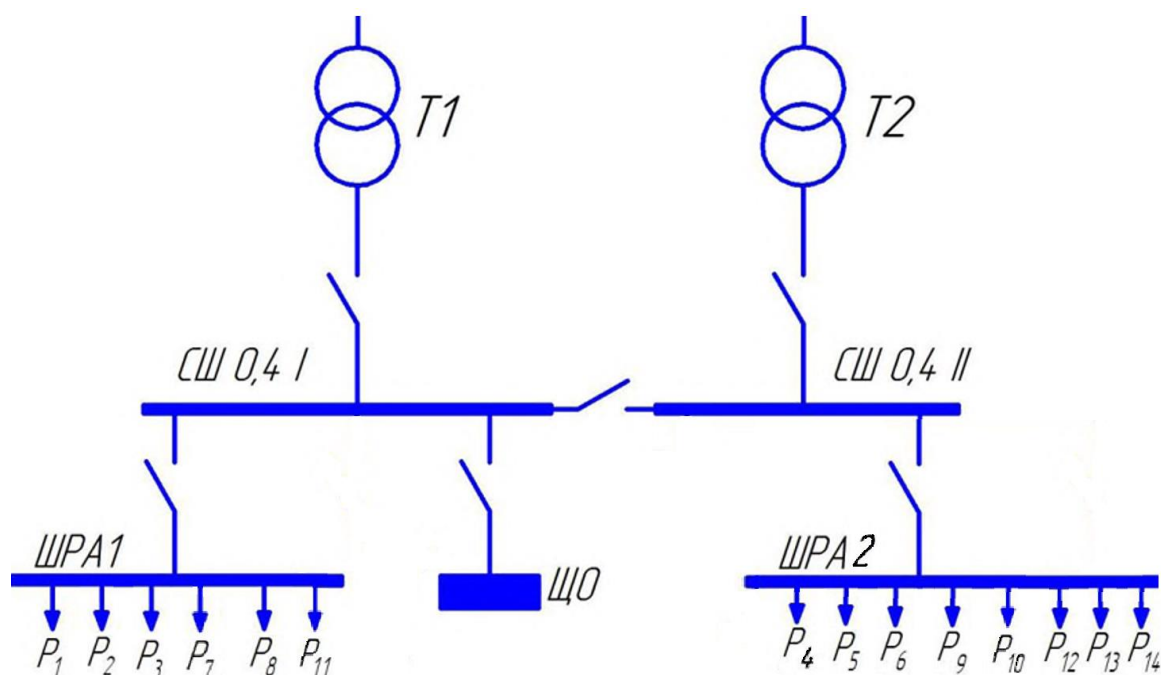


Рисунок 1 - Схема электроснабжения предприятия

## 1.6 Расчёт среднего коэффициента использования и показателя силовой сборки

Проведём расчёт суммарной установленной мощности:

$$P_{H(\text{ШРА}i)} = \sum P_{(n)} \text{ кВт} \quad (11)$$

Также посчитаем мощности потребителей по формулам 12, 13 и 14 указанным ниже [4]:

$$P_{CM(\text{ШРА}i)} = \sum P_{CM(n)} \text{ кВт} \quad (12)$$

$$Q_{H(\text{ШРА}i)} = \sum Q_{CM(n)} \text{ квар} \quad (13)$$

$$S_{CM(\text{ШРА}i)} = \sqrt{P_{CM(\text{ШРА}i)}^2 + Q_{CM(\text{ШРА}i)}^2} \text{ кВА} \quad (14)$$

Средний коэффициент использования найдём по формуле:

$$K_{и.ср} = \frac{P_{CM(\text{ШРА}i)}}{P_{H(\text{ШРА}i)}} \quad (15)$$

Показатель силовой сборки в группе найдём с помощью формулы 16:

$$m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}} \quad (16)$$

Эффективное число приёмников электрической энергии:

$$\text{При } m \leq 3 \quad n_{\text{э}} = n \quad (17)$$

$$\text{При } m > 3 \text{ и } K_{II} \geq 0,2 \quad n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_H}{P_{H.HБ}} \quad (18)$$

Далее необходимо рассчитать коэффициент максимума активной нагрузки:

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_{\text{Э}}}} \cdot \sqrt{\frac{1 - K_{II.CP}}{K_{II.CP}}} \quad (19)$$

Исходя из технической литературы при  $n_{\text{Э}} \leq 10$ , значение максимума реактивной нагрузки группы  $K_M' = 1,1$ .

Коэффициент мощности приёмников энергии, подключённых к распределительной шине, рассчитывается по формуле 20:

$$\cos \varphi = \frac{P_{CM(ШРАi)}}{S_{CM(ШРАi)}} \quad (20)$$

Коэффициент реактивной мощности приёмников энергии, подключённых к распределительной шине:

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q_{CM(ШРАi)}}{P_{CM(ШРАi)}} \quad (21)$$

Максимальные активную, реактивную и полную нагрузки на распределительной шине, определим по формулам 22, 23, 24:

$$P_M = K_M \cdot P_{CM} \text{ кВт} \quad (22)$$

$$Q_M = K_M' \cdot Q_{CM} \text{ кВт} \quad (23)$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} \text{ кВА} \quad (24)$$

Таблица 7 - Результаты расчёта нагрузок на распределительной шине

Расчетный параметры	Распределительные шины	
	ШРА1	ШРА2
$P_{н(ШРА)}$ , кВт	95	93
$P_{см(ШРА)}$ , кВт	47	22
$Q_{см(ШРА)}$ , квар	34	33
$S_{см(ШРА)}$ , кВА	58	41
$K_{и.ср}$	0,5 (>0,2)	0,2 (>0,2)
$m$	1,9 (<3)	2,5 (<3)
$n_{Э}$	7	8
$K_M$	1.6	2,1
$\cos \varphi$	1	0,5
$tg \varphi$	0,7	1,5
$P_M$ , кВт	75	46
$Q_M$ , квар	54	69
$S_M$ , кВА	92	83

На основании данных в таблице 7, определим расчетные токовые нагрузки распределительных устройств предприятия [5].

### 1.7 Расчёт максимальных токов на распределительных устройствах

Максимальные токи на распределительном устройстве определим по формулам 25:

$$I_{M(ШРАi)} = \frac{S_{M(ШРАi)}}{\sqrt{3} \cdot U_{Л}} \text{ А} \quad (25)$$

Таблица 8 - Максимальные токи распределительных устройств

Расчетный параметр	Расчетная величина
$I_{M(ШРА1)}, A$	153
$I_{M(ШРА2)}, A$	108

Далее из полученных данных сформируем таблицу 9, для упрощения дальнейших расчётов.

Анализ результатов расчетов нагрузок по предприятию, а также ожидаемых электрических нагрузок за самую загруженную смену показывает, что предварительное распределение подключения ЭП к распределительным устройствам было выполнено верно. Соотношение нагрузок приходящиеся на два трансформатора расположенных в ТП предприятия не превышает 15%.

Таким образом, при дальнейшем подключении новых ЭП на предприятии имеется резерв для подключения на ШРА 2, т.е. ко трансформатору Т2.

Исходя из этого, в дальнейшем при выборе схемы внутривозовского электроснабжения (ЭС) предприятия, предпочтение будет отдано выбранной предварительной схеме внутривозовского ЭС.



Таблица 9 – Показатели нагрузок по предприятию

Наименование и РУ электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену						Нагрузка максимальная			Ток
	$P_n$ , кВт	$n$	$P_{n\Sigma}$ , кВт	$Ku$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$m$	$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , кВАр	$S_{см}$ , кВА	$n_s$	$K_m$	$K'_m$	$P_m$ , 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
<b>ШРА1</b>																	
Установка производства полимера	50	1	50	0,65	0,8	0,75	-	32,5	24,4	40,7	-	-	-	-	-	-	-
Насос	5	1	5	0,65	0,8	0,75		3,25	2,4	4							
Система контроля циркуляции воздуха	4,5	2	9	0,7	0,8	0,75		1,8	1,35	2,3							
Электродотёл	4,5	1	4,5	0,2	0,5	1,73		0,9	7,8	7,9							
Электронагреватели	3	2	6	0,75	1	0		2,25	0	2,25							
Наждачный станок	1,5	1	1,5	0,12	0,4	2,29		0,2	3,4	3,4							
Всего на ШРА1	68,5	8	76	0,5	0,7	0,99	1,9	41	44	60,5	7	1,6	1,1	75	54	92	153
<b>ШРА2</b>																	
Линия фасовки и сортировки	5	2	10	0,2	0,4	2,29	-	4,4	10,1	11	-	-	-	-	-	-	-
Электротали	4,5	2	9	0,3	0,5	1,73		3	5,19	6							
Кран-балка	11	1	11	0,25	0,5	1,73		1,25	2,2	2,5							

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Электрические тэны	2	1	2	0,17	0,65	1,17	-	0,68	0,8	1	-	-	-	-	-	-	-
Сварочные агрегаты	55	2	110	0,14	0,5	1,73		3,85	6,7	7,7							
Формовочная машина	3	2	6	0,55	0,75	0,88		6,6	5,8	8,8							
Электроплита	5	1	5	0,17	0,65	1,17		0,85	1	1,3							
Станок токарный	2,5	3	7,5	0,2	0,65	1,17		1,5	1,8	2,3							
Всего на ШРА2	88	14	168	0,2	0,57	1,5	2,5	24,5	36	43	8	2,1	1,1	46	69	83	108
ЩО	-	-	12	0,6	0,95	0,35	-	7,2	4,2	8,3	-	-	-	4,61	1,52	4,85	7,39
Всего ШНН	157	-	249	-	0,68	0,95	-	72,7	84,2	111,8	-	-	-	175,6	124,5	180	268

На основании полученных расчетных значений ожидаемых электрических нагрузок, далее в работе будут проведены расчеты количества и мощности устанавливаемых трансформаторов 10/0,4 кВ в трансформаторной подстанции [1].

Вывод по разделу 1.

Проведены расчеты ожидаемых электрических нагрузок по предприятию. Рассчитана ожидаемая максимальная расчетная мощность силовой нагрузки, а также ожидаемая максимальная расчетная мощность осветительной нагрузки.

Анализ результатов расчетов нагрузок по предприятию, а также ожидаемых электрических нагрузок за самую загруженную смену показывает, что предварительное распределение подключения ЭП к распределительным устройствам было выполнено верно. Соотношение нагрузок приходящиеся на два трансформатора расположенных в ТП предприятия не превышает 15%.

## 2 Расчёт электрического освещения предприятия

На этом этапе необходимо «определить количество осветительных установок, подключенных к щиту общего рабочего освещения, марки осветительных установок, а также их суммарную мощность. На данном объекте к общему освещению производства подключены все помещения» [7]. Все необходимые расчеты были проведены с помощью программного обеспечения DIALux.

Таблица 10 - Расчёты DIALux

Помещение	Светильник	S, м <sup>2</sup>	Этажей	Мощность светильника P, Вт	n	∑ Φ, лм	∑ P, кВт
Основное производство	СОЮЗ 24-80/1-67	144	1	80	9	100000	0,24×9
Слесарная	СОЮЗ 24-80/1-67	36	1	80	4	44000	0,24×4
Склад	СОЮЗ 24-80/1-67	36	1	80	4	44000	0,24×4
Насос-1	СОЮЗ 24-80/1-67	6	1	80	1	11000	0,24
Коридор	СОЮЗ 24-80/1-67	12	1	80	2	22000	0,24×2
Насос-2	СОЮЗ 24-80/1-67	6	1	80	1	11000	0,24×1
Бойлерная	СОЮЗ 24-80/1-67	12	1	80	2	22000	0,24×2
Упаковка и фасовка	СОЮЗ 24-80/1-67	24	1	80	3	33000	0,24×3
Душевая	СОЮЗ 24-80/1-67	12	1	80	2	22000	0,24×2
Коридор-1	СОЮЗ 24-80/1-67	12	1	80	2	22000	0,24×2
Кабинет	СОЮЗ 24-80/1-67	12	1	80	2	22000	0,24×2
КТП	СОЮЗ 24-80/1-67	6	1	80	1	11000	0,24×1
Мощность ОУ:	-	-	-	-	-	-	12

В соответствии с данными спецификации оборудования проведём расчёт мощностей для освещения с использованием формул 26, 27, 28 соответственно:

$$P_{CM(OY)} = K_{II} \cdot P_{II} \text{ кВт} \quad (26)$$

$$Q_{CM(OY)} = P_{CM(OY)} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (27)$$

$$S_{CM(OY)} = \sqrt{P_{CM(OY)}^2 + Q_{CM(OY)}^2} \quad (28)$$

Максимальный ток щита освещения посчитаем с помощью формулы:

$$I_{M(\text{ЩО})} = \frac{S_{CM(OY)}}{\sqrt{3} \cdot U_{Л}} \quad (29)$$

Для всех помещений выбрали светильник СОЮЗ 24-80/1-67. Вид светильника и место выхода света изображены на рисунках 2 и 3.

При выборе светильников, планируемых к установке на рассматриваемом предприятии, предпочтение было отдано светодиодным светильникам из-за их высокой энергоэффективности [20].

Выбранный светильник СОЮЗ 24-80/1-67 соответствует [20] указанным требованиям.



Рисунок 2 – Светильник типа СОЮЗ 24-80/1-67

Световая характеристика светильника является одним из определяющих критериев, который влияет на выбор, особенно для предприятий, на которых равномерность освещения является одним из основных требований [9]. Также, световая характеристика светильника влияет на расстояние между устанавливаемыми светильниками исходя из рассеивания светового потока. Выбранные светильники имеют широкую световую характеристик (большую площадь рассеивания света), данная световая характеристика наглядна представлена на рисунке 3.

Исходя из области нормального рассеивания, выделена красной линией, видно, что освещаемая поверхность выбранных светильников имеет большую площадь освещения, что позволяет увеличить расстояние между устанавливаемыми светильниками, тем самым снизить их количество, при сохранении равномерности освещения рабочей поверхности, без снижения освещенности, которая регламентируется СНиП 23-05-95 [4] ( $E_{л}=300$  лк).

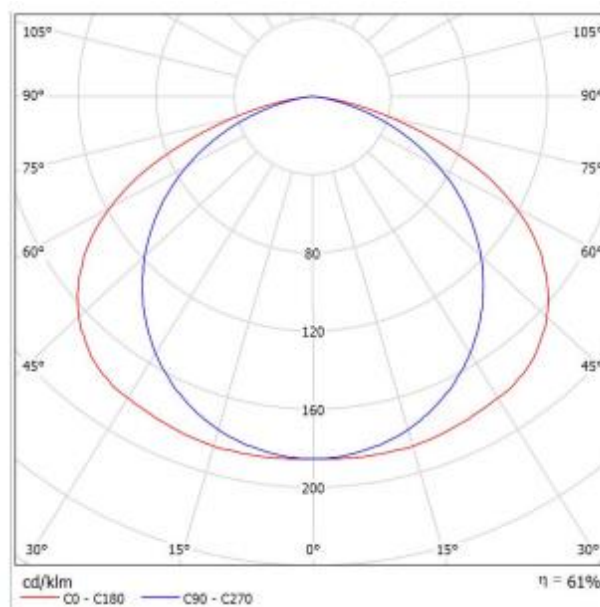


Рисунок 3 – Световая характеристик

Все нормы освещенности для помещений были выбраны с соответствием СНиП 23-05-95 [4]. Данные расчётов приведены в таблице 10.

Вывод по разделу 2.

В разделе был проведен выбор светильников, устанавливаемых на предприятии.

При выборе светильников, планируемых к установке на рассматриваемом предприятии, предпочтение было отдано светодиодным светильникам из-за их высокой энергоэффективности.

Для всех помещений были выбраны светильники типа СОЮЗ 24-80/1-67.

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

#### 3.1 Расчёт мощности трансформатора без компенсирующего устройства

Рассчитаем потери в трансформаторе:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{M(\text{ШНН})} = 0,02 \cdot 180 = 3,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{M(\text{ШНН})} = 0,1 \cdot 180 = 1,8 \text{ квар}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{3,6^2 + 1,8^2} = 4 \text{ кВА}$$

Определим расчётную мощность трансформатора с учётом потерь по формуле:

$$S_T \geq S_P = 0,7 \cdot (S_{M(\text{ШНН})} + \Delta S_T) = 0,7 \cdot (180 + 4) = 130 \text{ кВА}$$

#### 3.2 Расчёт и выбор компенсирующего устройства

Реактивная мощность компенсирующего устройства находится по формуле 34:

$$Q_{K.P} = \alpha \cdot P_M \cdot (tg\varphi - tg\varphi_K) = 0,9 \cdot 175,6 \cdot (0,95 - 0,27) = 107,5 \text{ квар}$$

Где значения  $P_M$  и  $tg\varphi$  выбираются по результату расчёта нагрузок из таблицы 9.



Для корректной работы сети необходимо добиться значения  $\cos\varphi_k$  около 0,95, поэтому принимаем  $\cos\varphi_k = 0,95$ , тогда  $\operatorname{tg}\varphi_k = 0,27$ . Коэффициент, учитывающий повышение  $\cos\varphi$  естественным способом  $\alpha = 0,9$ .

После расчёта реактивной мощности необходимой к погашению компенсирующим устройством, берём две конденсаторные установки марки УКРМ-0,4-60 [9].

Таблица 11 - Характеристики компенсирующего устройства УКРМ-0,4-70

Тип	U <sub>н</sub> , кВ	Q <sub>к.ст.</sub> , квар
УКРМ-0,4-60	0,4	60

Полученное значение коэффициента реактивной мощности после компенсации:

$$\operatorname{tg}\varphi_\Phi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{к.ст.}}{\alpha \cdot P_M} = 0,95 - \frac{120}{0,9 \cdot 175,6} = 0,19$$

По полученным значениям коэффициента реактивной мощности, определим значение коэффициента мощности:  $\cos\varphi_\Phi = 0,98$ .

### 3.3 Расчёт и выбор трансформатора с учётом компенсирующего устройства

Мощность трансформатора с учётом компенсирующего устройства:

$$S_P = 0,7 \cdot S_{M(ШНН)} = 0,7 \cdot 180 = 126 \text{ кВА}$$

Исходя из полученных результатов расчётов выбираем трансформатор ТСЛ 1600–10/0,4.

Таблица 12 - Характеристика трансформатора ТМ1600-10/0,4

Параметры	Значение
S, кВА	1600
Напряжение обмотки ВН, кВ	10
Напряжение обмотки НН, кВ	0,4
$\Delta P_{XX}$ ,	6
$\Delta P_{K3}$ ,	2,7
$U_{K3}$ , %	6
$I_{XX}$ , %	1,5

Таблица 13 – Показатели нагрузок без и с компенсирующим устройством

Параметр	cosφ	tgφ	P <sub>М</sub> , кВт	Q <sub>М</sub> , квар	S <sub>М</sub> , кВА
Всего на ШНН без КУ	0,68	0,95	175,6	124,5	268
КУ				110	
Всего на ШНН с КУ	0,95	0,76	175,6	14,5	190
Потери			3,6	1,8	4
Всего на ВН с КУ			179	16	195

Рассчитаем коэффициенты загрузки трансформатора по формулам:

$$K_3 = \frac{S_{(BH)}}{S_T} = \frac{195}{1600} = 0,12$$

Подобранный трансформатор загружен на 12%.

Необходимо отметить, что на территории объекта исследования планируется размещения нового производства. В соответствии

техническими условиями на технологическое подключение к электрическим сетям заявленная проектная мощность составляет нового производства составляет 2000 кВт.

Учитывая данные условия выбранные силовые трансформаторы является подходящими.

Далее в работе построим схему с использованием компенсирующих устройств реактивной мощности и трансформаторов электроснабжения цеха [6].

Вывод по разделу 3.

В данном разделе был проведен расчет установленной мощности устанавливаемых трансформантов в ТП предприятия.

При выборе были учтены мероприятия по компенсации реактивной мощности. По результатам расчетов для компенсации реактивной мощности были выбраны статические БК типа УКРМ-0,4-60.

На основании итоговых расчетных значений ожидаемых электрических нагрузок, а также заявленной мощности планируемого к строительству предприятия были выбраны трансформаторы типа ТСЛ 1600–10/0,4.

Выбранные трансформаторы позволят всех потребителей на производственной площадке предприятия по производству полимерных изделий без изменения топологии внешней схемы электроснабжения и дополнительных технических мероприятий.

#### **4 Выбор схемы внутрицехового электроснабжения**

При выборе системы электроснабжения промышленного предприятия основополагающим критерием является категория ЭП, располагаемых на предприятии. Также на выбор влияют технологический процесс, вид выпускаемой продукции и система внешнего электроснабжения, от которой планируется осуществить питание внутризаводской системы электроснабжения.

В рамках законодательства Российской Федерации [15], данный вопрос прорабатывается в рамках технологического присоединения энергопринимающих устройств к электрическим сетям территориальных сетевых организаций.

При учебном проектировании вышеуказанные процедуры подключения к сетям упускаются. Выбор схемы электроснабжения определяется только категорией ЭП [7].

Так как на предприятии имеются ЭП с второй категорией по надежности [8], то количество устанавливаемых трансформаторов в трансформаторной подстанции предприятия должно быть не менее двух. В виду отсутствия ЭП первой категории надежности, указанное количество является достаточным, так как не требуется дополнительное резервирование по сети 10 кВ.

Схема внутризаводского электроснабжения также определяется категорией надежности ЭП. При этом возможно построить дополнительное резервирование сети по стороне 0,4 кВ. Однако, дополнительное резервирование сопровождается дополнительными капитальными затратами на проектирование и монтаж внутрицеховой сети [16].

Исходя из вышеизложенного определим электрическую принципиальную схему электроснабжения предприятия, которая представлена на рисунке 4.

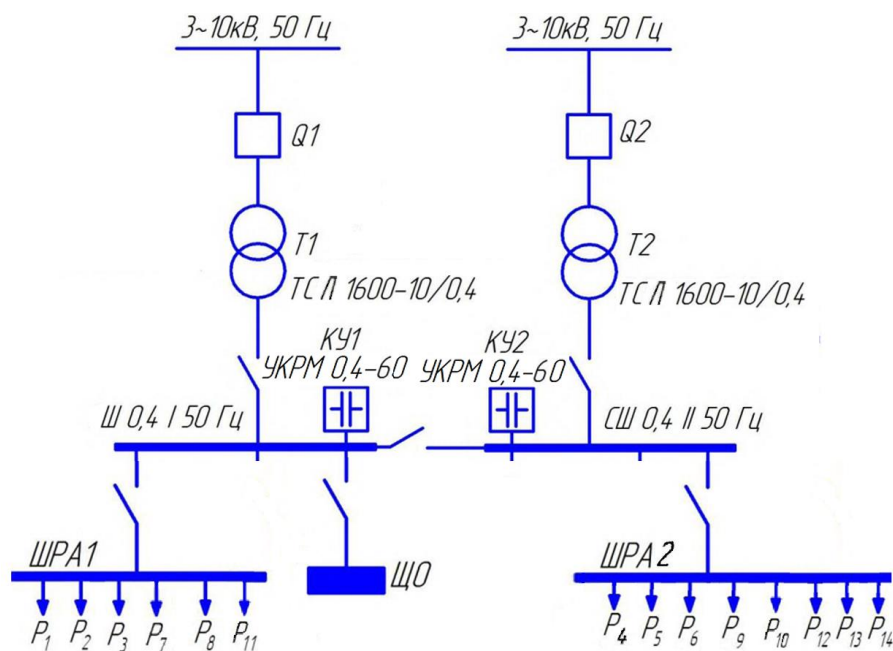


Рисунок 4 - Окончательная схема электроснабжения

Вывод по разделу 4.

В данном разделе рассмотрен вопрос выбора внутризаводской системы ЭС.

Нагрузка приходится на трансформаторы равномерно.

Силовые ЭП будут подключены к токопроводам, обладающие высокой пропускной способностью, это ШМА (ШРА).

Нагрузка небольшой мощности, а также ЭП с кратковременным (импульсным) режимом работы, будут подключены к отдельным распределительным пунктам (РП).

Система освещения будет запитываться от отдельного щита освещения (ЩО), который непосредственно подключен к шинам ВРУ-0,4 кВ, имеющих резервирование по стороне 0,4 кВ, непосредственной в ТП.

Таким образом, выбранная схема внутризаводского ЭС, обеспечивает требуемую надежность [11].

## 5 Предварительный выбор электрооборудования и проводников

### 5.1 Выбор аппаратов защиты

Автоматические выключатели и кабели для распределительных шин, распределительных подстанций и низковольтных распределительных шкафов производится по максимальному току в линии согласно условиям:

Для линии без двигателя:

$$\text{Для линии без двигателя} \quad I_{н.р} \geq I_M \quad (30)$$

$$\text{Для линии с одним двигателем} \quad I_{н.р} \geq 1,25 I_M \quad (31)$$

$$\text{Для линии с группой двигателей} \quad I_{н.р} \geq 1,1 I_M \quad (32)$$

Линии ШРА1 и ШРА2 — общий расчёт для получения максимальных значений токов:

Длительный ток в линии по формуле:

$$I_{дл} = I_{н.нб} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\phi \cdot \eta} = \frac{95}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,68 \cdot 0,95} = 224 \text{ A}$$

где  $I_{н.нб}$  — номинальный ток наибольшего в группе ЭД, А;

$U_n$  — линейное напряжение, кВ;

$\eta$  — КПД ЭД, отн. ед.

$$P_n = 60 \text{ кВт}; U_n = 0,38 \text{ кВ}; \cos\phi = 0,68; \eta = 0,95$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 224 = 280 \text{ A}$$

По полученным данным выбираем TS400N ATU 300A на обе шины, так как нагрузка на них распределена примерно равномерно.

Таблица 14 - Характеристика автоматического выключателя AR-M06N-1-B063

Параметр	Значение
$U_{н.а}$	380В
$I_{н.р.}$	300А
$I_{у(п)}$	1,1 $I_{н.р}$
$I_{у(к.з)}$	2 $I_{н.р}$
$I_{откл}$	65кА

Определяем ток и кратность отсечки по формулам:

$$I_0 > I_{шик} = 1,2 \cdot 6,5 \cdot 280 = 2200 \text{ А}$$

$$K_0 = \frac{I_0}{I_{н.р}} = \frac{2200}{300} = 7 \Rightarrow K_0 = 7$$

Данных выключателей будет достаточно, чтобы обеспечить корректную работу и верное срабатывание при КЗ. Возможность настройки времени срабатывания позволит исключить случайные отключения при пуске двигателей для работы предприятия [14].

Для части линии Т – ШНН подойдёт ВА 75–47 4000А.

## 5.2 Выбор линии электроснабжения, шинпровода

Линии электроснабжения выбираются с учётом соответствия аппаратам защиты согласно условию [19]:

$$I_{доп} \geq K \cdot I_{у(п)} \quad (33)$$

Для прокладки в трубах для взрывоопасных и пожароопасных

помещений необходимо подобрать кабель марки АВВГ,  $K_{зщ} = 1,25$ . Для прокладки в воздухе в помещениях с нормальной зоной опасности и при отсутствии механических повреждений  $K_{зщ} = 1$ , поэтому мы можем использовать кабель маркировки ПвБШв [10].

### **5.3 Подбор электрооборудования внутреннего электроснабжения предприятия**

Кабель для каждого приёмника электричества и автоматические выключатели выбирается по номинальному току. Для трёхфазных потребителей электроэнергии необходимо использовать 4-жильный кабель, а для однофазных 2-жильный [3].

Номинальный ток сварочного преобразователя:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos \varphi} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,4} = 83,6 \text{ А}$$

Выбор кабелей и автоматических выключателей для распределительных шин, распределительных подстанций и низковольтных распределительных шкафов производится по номинальному току [13].

Номинальный ток на ШНН с компенсирующим устройством; ШРА;  
РП:

$$I_H = \frac{P_M}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos \varphi} \quad (34)$$



Таблица 15 - Выбор кабелей и автоматических выключателей

Тип РУ	$I_n$ , А	Кабель	Автоматический выключатель
ШРА1	280	ПвБШв 4x120 мм <sup>2</sup>	TS400N ATU 300А
ШРА2	265	ПвБШв 4x120 мм <sup>2</sup>	TS400N ATU 300А
ШНН	270	ПвБШв 4x120 мм <sup>2</sup>	TS400N ATU 300А

#### 5.4 Выбор трансформаторов тока

Выбор трансформатора тока производится по номинальному току ШРА; ШНН, по техническому описанию трансформаторов тока.

Таблица 16 - Выбор трансформаторов тока

Тип РУ	$I_n$ , А	Трансформатор тока	Первичный номинальный ток, А	Вторичный номинальный ток, А
ШРА1	280	ТТИ-А 300	300	5
ШРА2	265	ТТИ-А 300	300	5
ШНН	270	ТТИ-А 300	300	5

Вывод по разделу 5.

В данном разделе рассмотрен вопрос выбора автоматических выключателей, устанавливаемых в сети 0,4 кВ, измерительных трансформаторов тока и кабельных линий внутризаводской сети ЭС.

## 6 Расчёт токов короткого замыкания

«В электрических установках могут возникнуть различные виды коротких замыканий, сопровождающихся резким увеличением тока. Поэтому электрооборудование, устанавливаемое в системах электроснабжения, должно быть устойчивым к токам КЗ и выбираться с учетом величин этих токов» [16].

«Различают следующие виды коротких замыканий: трехфазное или симметричное, когда три фазы соединяют между собой; двухфазное - две фазы соединяют между собой без соединения с землей; однофазное - одна фаза соединяется с нейтралью источника через землю; двойное замыкание на землю - две фазы соединяются между собой и с землей» [16].

При расчете токов КЗ разрабатывается расчетная схема, соответствующая нормальному режиму работы системы электроснабжения, предполагая, что все источники питания включены параллельно. В расчетной схеме учитываются сопротивления питающих генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий (воздушных и кабельных), реакторов. По полученной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех источников и потребителей и намечаются точки для расчета токов КЗ [17].

В нашем случае сеть с напряжением до 1 кВ, для данных сетей обычно рассчитываются  $K^{(1)}$ ;  $K^{(2)}$ ;  $K^{(3)}$ .

Для расчёта элементов цепи необходимо привести её к единому базисному напряжению. Обычно, за базисную ступень принимается ступень с напряжением 0,4 кВ. В таком случае значения активных и индуктивных сопротивлений выражаются в именованных единицах [20].

Таблица 17 – Значение сопротивлений первичных обмоток катушечных трансформаторов тока ниже 1 кВ

$K_{\text{ТТ}}$ (трансформатора тока)	Сопротивление, мОм класса точности	
	$X_{\text{ТТ}}$	$r_{\text{ТТ}}$
20/5	67	42
30/5	30	20
40/5	17	11
50/5	11	7
75/5	4,8	3
100/5	1,7	2,7
150/5	1,2	0,75
200/5	0,67	0,42
300/5	0,3	0,2
400/5	0,17	0,11
500/5...1500/5	0,07	0,05

Значение сопротивлений первичных обмоток в дальнейшем будут использоваться для расчетов ТКЗ в сети 0,4 кВ.

Таблица 18 – Значение сопротивлений автоматических выключателей до 1 кВ

$I_{\text{н.а}}, \text{А}$	Автомат			Рубильник	Разъединитель
	$R_{\text{а}}, \text{мОм}$	$X_{\text{а}}, \text{мОм}$	$R_{\text{п}}, \text{мОм}$	$R, \text{мОм}$	$R, \text{мОм}$
1	2	3	4	5	6
50	5,5	4,5	1,3	–	–
70	2,4	2	1	–	–
100	1,3	1,2	0,25	0,5	–
150	0,7	0,7	0,7	0,45	–
200	0,4	0,5	0,6	0,4	–
400	0,15	0,17	0,4	0,2	0,2

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4	5	6
600	11,12	0,13	0,25	0,15	0,15
1000	0,1	0,1	0,15	0,08	0,08
1600	0,08	0,08	0,1	–	0,06
2000	11,07	0,08	0,08	–	0,03
2500	0,06	0,07	0,07	–	0,03
3000	0,05	0,07	0,06	–	0,02
4000	0,04	0,05	0,05	–	–

Далее рассчитаем параметры схемы замещения.

### 6.1 Расчёт параметров схемы замещения

Определим параметры элементов схемы замещения:

Система:

$$X_C = \frac{U_{\phi}^2}{S_H} = \frac{(0,4 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 10^3} = 1,6 \text{ мОм}$$

$$I_C = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot V_C} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 92,5 \text{ А}$$

Наружная воздушная линия АС-3×16/2,7 ( $I_{\text{доп}} = 111 \text{ А}$ ):

$$x_0 = 0,4 \text{ мОм/км}$$

$$X'_C = x_0 \cdot L_C = 0,4 \cdot 10 = 4 \text{ Ом}$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \cdot S} = \frac{10^3}{30 \cdot 16} = 2,08 \text{ мОм/км}$$

$$R'_C = r_0 \cdot L_C = 2,08 \cdot 10 = 20,8 \text{ мОм}$$

Сопротивления приводятся к низкому напряжению:

$$R_C = R'_C \cdot \left( \frac{V_{HH}}{V_{BH}} \right)^2 = 20,8 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 = 33,3 \text{ мОм}$$

$$X_C = X'_C \cdot \left( \frac{V_{HH}}{V_{BH}} \right)^2 = 4 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 = 6,4 \text{ мОм}$$

Трансформатор Т:

$$R_T = P_{K3} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_n^2} = 18 \cdot 10^3 \cdot \frac{(0,4 \cdot 10^3)^2}{(1600 \cdot 10^3)^2} = 1,1 \text{ мОм}$$

$$Z_T = \frac{U_K \%}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_n} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{(0,4 \cdot 10^3)^2}{1600 \cdot 10^3} = 5,5 \text{ мОм}$$

$$X_T = \sqrt{Z_{T1}^2 - R_{T1}^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,125^2} = 5,384 \text{ мОм}$$

Таблица 19 - Данные элементов цепи

Элемент цепи	Сопротивление		
	R, мОм	X, мОм	R <sub>П</sub> , мОм
Трансформатор тока ТТ1:	0,07	0,05	-
Трансформатор тока ТТ2:	0,07	0,05	-
Автоматический выключатель АВ1:	11,12	0,13	0,25
Автоматический выключатель АВ2:	11,12	0,13	0,25
Автоматический выключатель АВ3:	1,3	1,2	0,25

Кабельная линия КЛ1:

Так как в схеме 3 параллельных кабеля, то:

$$R_0 = \frac{1}{3} \cdot r'_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,077 = 0,03 \text{ мОм/м}$$

$$X_0 = \frac{1}{3} \cdot x'_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,0587 = 0,02 \text{ мОм/м}$$

$$R_{КЛ1} = R_0 \cdot l = 0,03 \cdot 56,5 = 1,7 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ1} = X_0 \cdot l = 0,02 \cdot 56,5 = 1,1 \text{ мОм}$$

Кабельная линия КЛ2:

Так как в схеме 3 параллельных кабеля, то:

$$R_0 = \frac{1}{3} \cdot r'_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,074 = 0,024 \text{ мОм/м}$$

$$X_0 = \frac{1}{3} \cdot x'_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,0662 = 0,022 \text{ мОм/м}$$

$$R_{КЛ2} = R_0 \cdot l = 0,024 \cdot 96 = 2,3 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ2} = X_0 \cdot l = 0,022 \cdot 96 = 2,1 \text{ мОм}$$

Таблица 20 - Табличные значения для ШРА400

Параметр	Значение
$r_0$ , мОм/м	0,02
$x_0$ , мОм/м	0,01
$r_{0П}$ , мОм/м	0,02
$x_{0П}$ , мОм/м	0,08
$R_{ш}$ , мОм	0,12
$X_{ш}$ , мОм	0,06

Для ступеней распределения по справочным данным:

$$R_{C1} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{C2} = 20 \text{ мОм}$$

## 6.2 Расчёт токов короткого замыкания в трёх точках

### 6.2.1 Расчёт короткого замыкания в точке К31

Необходимо упростить схему замещения и вычислить эквивалентные сопротивления на участках между точками КЗ:

$$R_{\mathcal{E}1} = R_C + R_T + R_{IIAB1} + R_{AB1} + R_{C1} = 33,3 + 1,1 + 0,25 + 11,12 + 15 = 60,8 \text{ мОм}$$

$$X_{\mathcal{E}1} = X_C + X_T + X_{AB1} = 1,6 + 5,5 + 0,13 = 7,1 \text{ мОм}$$

$$R_{\mathcal{E}2} = R_{AB2} + R_{IIAB2} + R_{KЛ1} + R_{III} + R_{C2} = \\ = 11,12 + 0,25 + 1,7 + 0,012 + 20 = 33,1 \text{ мОм}$$

$$X_{\mathcal{E}2} = X_{AB2} + X_{KЛ1} + X_{III} = 0,13 + 1,1 + 0,06 = 1,3 \text{ мОм}$$

$$R_{\mathcal{E}3} = R_{AB3} + R_{IIAB3} + R_{KЛ2} + R_{III} + R_{C2} = \\ = 1,3 + 0,25 + 2,3 + 0,12 + 20 = 23,9 \text{ мОм}$$

$$X_{\mathcal{E}3} = X_{AB3} + X_{KЛ2} = 1,2 + 2,1 = 3,3 \text{ мОм}$$

4. Вычисляются сопротивления до каждой точки короткого замыкания и заносятся в «Сводную ведомость» (таблица 21):

$$R_{K1} = R_{\mathcal{E}1} = 60,8 \text{ мОм}$$

$$X_{K1} = X_{\mathcal{E}1} = 7,1 \text{ мОм}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = 61,2 \text{ мОм}$$

$$R_{K2} = R_{\mathcal{E}2} = 33,1 \text{ мОм}$$

$$X_{K2} = X_{\mathcal{E}2} = 1,3 \text{ мОм}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = 33,1 \text{ мОм}$$

$$R_{K3} = R_{\mathcal{E}3} = 23,9 \text{ мОм}$$

$$X_{K3} = X_{\mathcal{E}3} = 3,3 \text{ мОм}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = 24,1 \text{ мОм}$$

$$\frac{R_{K1}}{X_{K1}} = \frac{60,8}{7,1} = 8,5 \text{ МОм}$$

$$\frac{R_{K2}}{X_{K2}} = \frac{33,1}{1,3} = 25,5 \text{ МОм}$$

$$\frac{R_{K3}}{X_{K3}} = \frac{23,9}{3,3} = 7,2 \text{ МОм}$$

5. Определяются коэффициенты  $K_y$  и  $q$ :

$$K_{y1} = F\left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}}\right) = F(8,5) = 1$$

$$K_{y2} = F\left(\frac{R_{K2}}{X_{K2}}\right) = F(25,5) = 1$$

$$K_{y3} = F\left(\frac{R_{K3}}{X_{K3}}\right) = F(7,2) = 1$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1 - 1)^2} = 1$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = 1$$

6. Определяются 3-фазные и 2-фазные токи короткого замыкания и заносятся в «Сводную ведомость» (таблица 21):

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{V_{K1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 61,2} = 14 \text{ кА}$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{V_{K2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 33,1} = 7,7 \text{ кА}$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{V_{K3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 24,1} = 5,6 \text{ кА}$$

$$I_{yK1} = q_1 \cdot I_{K1}^{(3)} = 1 \cdot 14 = 14 \text{ кА}$$

$$I_{yK2} = q_2 \cdot I_{K2}^{(3)} = 1 \cdot 7,7 = 7,7 \text{ кА}$$

$$I_{yK3} = q_3 \cdot I_{K3}^{(3)} = 1 \cdot 5,6 = 5,6 \text{ кА}$$



$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 14 = 19,8 \text{ кА}$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 7,7 = 10,9 \text{ кА}$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 5,6 = 7,9 \text{ кА}$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 14 = 12,2 \text{ кА}$$

$$I_{K2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,7 = 6,6 \text{ кА}$$

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,6 = 4,8 \text{ кА}$$

7. Расчёт 1-фазных токов короткого замыкания:

$$X_{ПКЛ1} = x_{0П} \cdot L_{КЛ1} = 0,15 \cdot 56,5 = 8,5 \text{ мОм}$$

$$R_{ПКЛ1} = 2r_0 \cdot L_{КЛ1} = 2 \cdot 0,03 \cdot 56,5 = 3,39 \text{ мОм}$$

$$X_{ПШ} = x_{0ПШ} \cdot L_{Ш} = 6 \cdot 0,08 = 0,48 \text{ мОм}$$

$$R_{ПШ} = r_{0ПШ} \cdot L_{Ш} = 6 \cdot 0,02 = 0,12 \text{ мОм}$$

$$X_{ПКЛ2} = x_{0П} \cdot L_{КЛ2} = 0,15 \cdot 96 = 14,4 \text{ мОм}$$

$$R_{ПКЛ2} = 2r_0 \cdot L_{КЛ2} = 2 \cdot 0,024 \cdot 96 = 4,6 \text{ мОм}$$

$$Z_{П1} = R_{C1} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{П2} = R_{C1} + R_{ПКЛ1} + R_{ПШ} + R_{C2} = 15 + 3,4 + 0,12 + 20 = 38,5 \text{ мОм}$$

$$X_{П2} = X_{ПКЛ1} + X_{ПШ} = 8,5 + 0,48 = 9 \text{ мОм}$$

$$Z_{П2} = \sqrt{R_{П2}^2 + X_{П2}^2} = 39,5 \text{ мОм}$$

$$R_{П3} = R_{П2} + R_{ПКЛ2} = 38,5 + 4,6 = 43,1 \text{ мОм}$$

$$X_{П3} = X_{П2} + X_{ПКЛ2} = 9 + 14,4 = 23,4 \text{ мОм}$$

$$Z_{П3} = \sqrt{R_{П3}^2 + X_{П3}^2} = 49 \text{ мОм}$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{V_{K\Phi}}{Z_{П1} + (Z_T^{(1)} / 3)} = \frac{230}{15 + (54/3)} = 6,96 \text{ кА}$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{V_{K\Phi}}{Z_{П2} + (Z_T^{(1)} / 3)} = \frac{220}{39,5 + (54/3)} = 4 \text{ кА}$$

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{V_{K\Phi}}{Z_{ПЗ} + (Z_T^{(1)} / 3)} = \frac{220}{49 + (54 / 3)} = 3,4 \text{ кА}$$

Таблица 21 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	$R_k$ , МОм	$X_k$ , МОм	$Z_k$ , МОм	$\frac{R_k}{X_k}$	$K_y$	$q$	$I_k^{(3)}$ , кА	$i_y$ , кА	$I_{\infty}^{(3)}$ , кА	$I_k^{(2)}$ , кА	$Z_{п}$ , МОм	$I_k^{(1)}$ , кА
К1	60,8	7,1	61,2	8,5	1	1	14	19,8	14	12,2	15	6,96
К2	33,1	1,3	33,1	25,5	1	1	77	10,9	77	6,6	39,5	4
К3	23,9	3,3	24,1	5,5	1	1	5,6	7,9	5,6	4,8	49	3,4

Выводы по разделу 6.

В данном разделе были проведены расчеты токов короткого замыканий. По результатам расчетов определены ударные токи и токи трехфазных коротких замыканий на различных участках системы электроснабжения промышленного предприятия. Все выбранные автоматические выключатели соответствуют выбранным параметрам сети.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе была рассмотрена актуальная тема: проектирование системы электроснабжения предприятия по производству полимерных изделий. Актуальность темы заключается в разработке типовых и современных решений при проектировании систем электроснабжения небольших промышленных предприятий. В работе была сформулирована цель, которая была разбита на несколько задач.

При решении первой задачи в работы были проведены расчеты электрических нагрузок силовой нагрузки и системы освещения предприятия. На основании результирующих значений определена схема электроснабжения, а также выбраны трансформаторы в трансформаторную подстанцию предприятия, от которой будет запитано рассматриваемое производство.

При решении второй задачи были выбраны компенсирующие устройства устанавливаемые в водном распределительном устройстве предприятия. Исходя из итоговых значений потребляемой реактивной мощности из внешней сети, скорректированы значения установленной мощности трансформаторов, устанавливаемых в ТП предприятия.

При решении третьей задачи было выбрано первичное электрооборудование системы электроснабжения промышленного предприятия, а именно кабельные линии, автоматические выключатели, распределительные пункты.

В заключении, проведены расчеты токов короткого замыкания на различных участках сети, по результатам которого был сделан вывод, что все оборудования удовлетворяет требованиям по термической и динамической устойчивости.

Таким образом, поставленная цель выполнена, а решенные задачи выполнены в полном объеме.

## Список используемых источников и используемой литературы

1. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах / В.А. Андреев. – М.: Высшая школа, 2020. 256 с.
2. ГОСТ 14209-85. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. – М.: Энергия, 2022. 39 с.
3. ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. – М.: Энергия, 2022. 45 с.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. - М.: МЭИ, 2019. 412 с.
5. Кудрин Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2020. 352 с.
6. Куско А. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии / А. Куско, М. Томпсон. - М.: Додэка XXI, 2020. 336 с.
7. Миллер Г. Р. Автоматизация в системах электроснабжения / Г.Р. Миллер. - М.: Государственное энергетическое издательство, 2019. 176 с.
8. Можаяева С.В. Экономика энергетического производства: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. 208 с., ил.
9. Охрана труда в энергетике: Учебник для техникумов / под ред. Князевского Б.А. – М.: Энергопромиздат, 2019. 376 с.
10. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий / Н.К. Полуянович. – М.: Лань, 2019. 400 с.
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ): (Издание седьмое) Приказ Минэнерго России от 08.07.2002 № 204; Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации.
12. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания – М.: Энергия, 2022. 69 с.
13. Техническая документация. Предприятие по выпуску металлических конструкций, 2022. 198 с.

14. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2018. 480 с.
15. Хорольский В. Я. Надежность электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. - М.: Форум, Инфра-М, 2019. 128 с.
16. Хорольский В. Я. Эксплуатация систем электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. - М.: Дрофа, 2018. 288 с.
17. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2019. 216 с.
18. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2020. 136 с.
19. Школа электрика. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 05.05.2022).
20. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. – <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения: 06.05.2022).
21. Юндин М. А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению / М.А. Юндин, А.М. Королев. - М.: Лань, 2019. 320 с.