

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 Проектирование системы электроснабжения группы цехов завода железобетонных изделий

Студент

О.И. Озеров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Тольятти 2021

## **Аннотация**

Во время выполнения выпускной квалификационной работы на тему «Проектирование системы электроснабжения группы цехов завода железобетонных изделий» произведен подробный расчет цеховых и внутризаводских нагрузок, определение числа и мощности силовых трансформаторов для всех групп цехов, мощности главной понижающей подстанции, установленных силовых трансформаторов и аппаратов защиты, расчет осветительной нагрузки, определение токов короткого замыкания, выбор питающего кабеля.

Все это необходимо для обеспечения максимальной безопасности, экономичности и комфортной обстановки работников, а также надежности в работе электрооборудования.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом в 59 листов, включающую в себя 7 таблиц, 6 чертежей и 2 рисунка.

## Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика завода, требования к электроснабжению, выбор схемы распределительной сети .....	6
2 Расчет и проектирование систем электроснабжения механического цеха ....	8
2.1 Расчет электрических нагрузок механического цеха .....	8
2.2 Расчет нагрузки осветительных сетей.....	18
2.3 Компенсация реактивной мощности .....	22
2.4 Выбор числа и мощности трансформатора .....	23
2.5 Защитные аппараты, расчет и выбор аппаратов защиты .....	24
3 Расчет электрических нагрузок завода .....	29
4 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций. Выбор компенсирующих установок .....	34
5 Выбор расположения ГПП. Расчет типа, числа и мощности трансформаторов ГПП.....	40
6 Расчет токов коротких замыканий .....	42
7 Выбор и проверка оборудования на стороне 10 кВ ГПП.....	48
8 Выбор высоковольтного кабеля .....	53
Заключение .....	55
Список используемых источников.....	57

## Введение

Тема выпускной квалификационной работы «Проектирование системы электроснабжения группы цехов завода железобетонных изделий».

При конструкции распределительных сетей возникают проблемы разумного демонтажа имеющегося оборудования, сохраняя часть оборудования, модернизируя его. Применение современных технологий при проектировании помогает избежать большей части этих проблем [24].

Объектом проектирования является силовые и распределительные сети электроснабжения и подключения электрооборудования завода железобетонных изделий.

Предметом проектирования является аналитический расчет силовых и осветительных сетей, числа и мощности монтируемых силовых трансформаторов и практический выбор токоведущих частей, коммутирующих, защитных аппаратов, распределительных устройств.

Цель проекта:

- это расчет и проектирование силовых сетей завода железобетонных изделий;
- выбрать аппараты защиты, сечение проводов и кабелей, проверить их на длительный допустимый ток;
- провести компенсацию реактивной каждой группы цехов мощности до коэффициента мощности 0,92 – 0,94;
- выбрать комплектные трансформаторные подстанцию: количество и мощность силовых трансформаторов;
- выбор числа и мощности все цеховых подстанций и главной понижающей подстанции;
- расчет токов короткого замыкания на высокой стороне;
- определение необходимых для обеспечения питания предприятия кабельных линий.

Чтобы сделать максимально приближенный к экономически выгодному варианту электроснабжения предприятия, напряжение отдельной

части системы электроснабжения должно выбираться с учетом напряжений смежных звеньев.

При этом необходимо решить следующие задачи:

- расчет цеховых нагрузок;
- определения необходимого числа и расчетной мощности цеховых подстанций;
- определение схемы электроснабжения;
- определение необходимых аппаратов защиты и питающих кабелей;
- технико-экономическое обоснование величины напряжения и схемы внутреннего электроснабжения цеха.

Исходными данными для проекта служат:

- исходные параметры завода
- план размещения технологического оборудования цеха;
- установленные мощности электроприемников;
- характеристика помещения, размеры цеха

## 1 Характеристика завода, требования к электроснабжению, выбор схемы распределительной сети

Завод железобетонных изделий специализируется на подготовке железобетонных конструкций, для строительных площадок и специализированных работ. Выполняется производство плит, перекрытий, фундаментов, колец, бордюров.

Большинство работ производится по подготовке необходимых материалов для железобетонных конструкций разного назначения.

Для производства конструкции в зависимости от конкретных заказов необходимо выбирать индивидуальные подходы к производству в соответствии с пожеланиями заказчиков. В роли заказчиков часто выступают большие предприятия и отдельные лица.

Таблица 1 – Исходные параметры электрооборудования механического цеха

Технологическая позиция	Мощность каждого электроприемника Р , кВт	Количество электроприемников n , шт
Прокатный станок	3,7	13
Станок фрезерный	7,6	4
Станок радиально-сверлильный	8,6	4
Пресс кривошипный	11	4
Пресс фрикционный	12,7	3
Печь отжиговая	55	4
Вертикально намоточный станок	12,7	3
Штамповочный автомат	14	6
Машина холодной сварки	28	2
Станок шлифовальный	7,5	4
Штамп фасонный	5	2
Ковочный молот	40	4
Вентиляционная установка	5	4
Пресс электромеханический	21	8
Кран балка	16	1
Таль	25	1
Итого		67

Для механического цеха принята категория надежности электроснабжения третья, размеры цеха  $A \times B \times H = 40 \times 56 \times 10$  м.

Для внутрицеховых электрических сетей используется на всем оборудовании напряжение 380/220 В, причём от сети 380В будет питаться силовая нагрузка, а от сети 220 будет питаться осветительная нагрузка.

При выборе рода тока следует учитывать следующие факторы: увеличение расстояния влечет за собой рост электрического сопротивления проводов, и рост потерь на их нагрев. Соответственно, чтобы уменьшить потери либо уменьшаем сопротивление проводников, либо увеличиваем передаваемое напряжение [13].

Таблица 2 – Данные завода

Наименование цеха	Мощность электроприемников $P_H$ кВт	Число элек- тропри- емников, пэ
Гараж	150	15
Склад готовой продукции №1	193	6
Градирня	85	7
Компрессорная	140	8
Насосная станция	506	6
Производственный корпус №1	3155	87
Административно-бытовой корпус	534	21
Котельная	1218	24
Арматурный цех	1987	80
Бетоносмесительный цех №1	404	23
Производственный корпус №2	3538	70
Мазутохранилище	84	5
Депо	105	12
Бетоносмесительный цех №2	530	39
Склад заполнителей	501	16
Склад готовой продукции №2	216	7
Склад цемента	177	10
Механический цех	—	—

Выводы по разделу 1:

Для данного механического цеха выбрана смешенная система электроснабжения, которая осуществляется радиальными и магистральными участками обеспечивает высокую надёжность электроснабжения, является наиболее рациональной и экономичной.

## 2 Расчет и проектирование систем электроснабжения механического цеха

### 2.1 Расчет электрических нагрузок механического цеха

Для расчета электрических нагрузок на проектируемых промышленных предприятия важно учитывать режим его работы, мощность, напряжение, род тока и категорию надёжность электроприёмников.

Расчёт будет выполнен методом коэффициента максимума, при этом необходимо все расчётные значения записывать в таблицу нагрузок, расчёт начинают с изучения распределительной сети, при необходимости выполняется схема разводки и подключения электрооборудования. К каждому распределительному устройству может подключаться от 1 до множества групп электроприёмников [29].

При расчете необходимо учитывать число и мощность всего оборудования размещенного в цехе [1].

Таблица 3 – Перечень оборудования ШРА 1

Наименование электроприемников	Количество электроприемников	Единичная мощность электроприемника	Коэффициент использования	Коэффициент мощности	Тангенс потерь
	n, шт	P, кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
Прокатный станок	8	3,7	0,17	0,65	1,169
Станок фрезерный	2	7,6	0,17	0,65	1,169
Станок радиально сверлильный	2	8,6	0,17	0,65	1,169
Пресс кривошипный	2	11	0,17	0,65	1,169

Номинальная мощность группы электроприёмников  $P_{\text{НОМ.}n}$ , кВт

$$P_{\text{НОМ.}n} = n \cdot P_{\text{НОМ.}j} \quad (1)$$
$$P_{\text{НОМ.}1} = 8 \cdot 3,7 = 29,6 \text{ кВт},$$
$$P_{\text{НОМ.}2} = 2 \cdot 7,6 = 15,2 \text{ кВт},$$
$$P_{\text{НОМ.}3} = 2 \cdot 8,6 = 17,2 \text{ кВт},$$
$$P_{\text{НОМ.}4} = 2 \cdot 11 = 22 \text{ кВт}.$$

Среднесменная активная мощность каждой группы  $P_{\text{СМ.}n}$ , кВт

$$P_{\text{СМ.}n} = P_{\text{НОМ.}1} \cdot K_{\text{и}}, \quad (2)$$
$$P_{\text{СМ.}1} = 29,6 \cdot 0,17 = 5,032 \text{ кВт},$$
$$P_{\text{СМ.}2} = 15,2 \cdot 0,17 = 2,584 \text{ кВт},$$
$$P_{\text{СМ.}3} = 17,2 \cdot 0,17 = 2,924 \text{ кВт},$$
$$P_{\text{СМ.}4} = 22 \cdot 0,17 = 3,74 \text{ кВт}.$$

Среднесменная реактивная мощность каждой группы  $Q_{\text{СМ.}n}$ , кВАр

$$Q_{\text{СМ.}n} = P_{\text{СМ.}1} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (3)$$
$$Q_{\text{СМ.}1} = 5,032 \cdot 1,169 = 5,882 \text{ кВАр},$$
$$Q_{\text{СМ.}2} = 2,584 \cdot 1,169 = 3,021 \text{ кВАр},$$
$$Q_{\text{СМ.}3} = 2,924 \cdot 1,169 = 3,418 \text{ кВАр},$$
$$Q_{\text{СМ.}4} = 3,74 \cdot 1,169 = 4,372 \text{ кВАр}.$$

Расчёт распределительного шинпровода ШРА1

Количество электроприемников ШРА1  $n$ , шт

$$n = \sum_1^n n, \quad (4)$$

$$n = 8 + 2 + 2 + 2 = 14 \text{ шт.}$$

Суммарная номинальная мощность групп электроприёмников  
 $P_{\text{ном.шра1}}$ , кВт

$$P_{\text{ном.шра1}} = \sum_1^n P_{\text{ном.}j} \quad (5)$$

$$P_{\text{ном.шра1}} = \sum_1^4 29,6 + 15,2 + 17,2 + 22 = 84 \text{ кВт.}$$

Суммарная среднесменная активная мощность  $P_{\text{см.шра1}}$ , кВт

$$P_{\text{см.шра1}} = \sum_1^n P_{\text{см.}j} \quad (6)$$

$$P_{\text{см.шра1}} = 5,032 + 2,584 + 2,924 + 3,74 = 14,28 \text{ кВт.}$$

Суммарная среднесменная реактивная мощность  $Q_{\text{см.шра1}}$ , кВар

$$Q_{\text{см.шра1}} = \sum_1^n Q_{\text{см.}j} \quad (7)$$

$$Q_{\text{см.шра1}} = \sum_1^4 5,882 + 3,021 + 3,418 + 4,372 = 16,693 \text{ кВар.}$$

Модуль силовой сборки  $m$

$$m = \frac{P_{\text{ном.макс.1}}}{P_{\text{ном.мин.1}}}, \quad (8)$$

$$m = \frac{11}{3,7} = 2,973.$$

Средневзвешенный коэффициент использования  $K_{и.шра1}$

$$K_{и.шра1} = \frac{P_{см.пр1}}{P_{ном.пр1}}, \quad (9)$$

$$K_{и.шра1} = \frac{14,28}{84} = 0,17.$$

Средневзвешенный тангенс потерь  $tg\varphi_{шра1}$

$$tg\varphi_{шра1} = \frac{Q_{см.шра1}}{P_{см.шра1}}, \quad (10)$$

$$tg\varphi_{шра1} = \frac{16,693}{14,28} = 1,169.$$

Средневзвешенный коэффициент мощности  $\cos\varphi_{шра1}$   
соответствующий тангенсу потерь  $tg\varphi_{шра1}$ ,  $\cos\varphi_{шра1} = 0,65$

Эффективное число электроприёмников  $n_э$

$$n_э = n, \quad (11)$$

$$n_э = 14.$$

Коэффициент максимума  $K_{макс.шра1} = 1,77$  [4]

Максимальная активная мощность  $P_{макс.шра1}$ , кВт

$$P_{макс.шра1} = P_{см.шра1} \cdot K_{макс.шра1}, \quad (12)$$

$$P_{макс.шра1} = 14,28 \cdot 1,77 = 25,276 \text{ кВт.}$$

Максимальная реактивная мощность  $Q_{макс.пр1}$ , кВАр

$$n > 10,$$

$$Q_{\text{макс.шра1}} = 16,693 \text{ кВАр.}$$

Максимальная полная мощность  $S_{\text{макс.шра1}}$ , кВА

$$S_{\text{макс.шра1}} = \sqrt{P_{\text{макс.шра1}}^2 + Q_{\text{макс.шра1}}^2}, \quad (13)$$
$$S_{\text{макс.пр1}} = \sqrt{25,276^2 + 16,693^2} = 30,291 \text{ кВА.}$$

Максимальный ток  $I_{\text{макс.шра1}}$ , А

$$I_{\text{макс.шра1}} = \frac{S_{\text{макс.шра1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (14)$$

где  $U_{\text{ном}}$  - линейное напряжение внутрицеховой сети, В

$$I_{\text{макс.шра1}} = \frac{30291}{\sqrt{3} \cdot 380} = 46,022 \text{ А.}$$

Расчёт шинопроводов ШРА2, ШРА3, ШРА4, ШРА5, пунктов распределительных ПР1, ПР2, ПР3, ПР4, ПР5 произведены аналогично.

Расчёт магистрального шинопровода ШМА1

Количество электроприемников ШМА1  $n$ , шт

$$n = \sum_1^n n, \quad (4)$$

$$n = 11 + 25 + 9 + 8 + 14 = 67 \text{ шт.}$$

Суммарная номинальная мощность групп электроприёмников  $P_{\text{ном.шма1}}$ , кВт

$$P_{\text{НОМ.шма1}} = \sum_1^n P_{\text{НОМ.}j} \quad (5)$$

$$P_{\text{НОМ.шма1}} = 84 + 283,1 + 122,1 + 460 + 72,9 = 1022,1 \text{ кВт.}$$

Суммарная среднесменная активная мощность  $P_{\text{СМ.шма1}}$ , кВт

$$P_{\text{СМ.шма1}} = \sum_1^n P_{\text{СМ.}j} \quad (6)$$

$$P_{\text{СМ.шма1}} = 14,28 + 172,727 + 40,95 + 152,22 + 12,393 = 392,57 \text{ кВт.}$$

Суммарная среднесменная реактивная мощность  $Q_{\text{СМ.шма1}}$ , кВар

$$Q_{\text{СМ.шма1}} = \sum_1^n Q_{\text{СМ.}j} \quad (7)$$

$$Q_{\text{СМ.шма1}} = 16.693 + 64.02 + 33.228 + 171.702 + 14.488 = 300,131 \text{ кВар.}$$

Модуль силовой сборки  $m$

$$m = \frac{P_{\text{НОМ.макс.1}}}{P_{\text{НОМ.мин.1}}}, \quad (8)$$

$$m = \frac{55}{3,7} = 14,865.$$

Средневзвешенный коэффициент использования  $K_{\text{и.шма1}}$

$$K_{\text{и.шма1}} = \frac{P_{\text{СМ.пр1}}}{P_{\text{НОМ.пр1}}}, \quad (9)$$

$$K_{\text{и.шма1}} = \frac{397,57}{1022,1} = 0,389.$$

Средневзвешенный тангенс потерь  $\text{tg}\varphi_{\text{шма1}}$

$$\text{tg}\varphi_{\text{шма1}} = \frac{Q_{\text{см.шма1}}}{P_{\text{см.шма1}}}, \quad (10)$$
$$\text{tg}\varphi_{\text{шма1}} = \frac{300,131}{397,57} = 0,755.$$

Средневзвешенный коэффициент мощности  $\text{cos}\varphi_{\text{шма1}}$   
соответствующий тангенсу потерь  $\text{tg}\varphi_{\text{шма1}}$ ,  $\text{cos}\varphi_{\text{шма1}} = 0,798$

Эффективное число электроприёмников  $n_э$ , шт

$$n_э = n, \quad (11)$$

$$n_э = 67 \text{ шт.}$$

Коэффициент максимума  $K_{\text{макс.шма1}}$  [4]

$$K_{\text{макс.шма1}} = 1,12$$

Максимальная активная мощность  $P_{\text{макс.шра1}}$ , кВт

$$P_{\text{макс.шма1}} = P_{\text{см.шма1}} \cdot K_{\text{макс.шма1}}, \quad (12)$$
$$P_{\text{макс.шма1}} = 397,57 \cdot 1,12 = 445,268 \text{ кВт.}$$

Максимальная реактивная мощность  $Q_{\text{макс.шма1}}$ , кВАр

$$n > 10,$$
$$Q_{\text{макс.шма1}} = 300,131 \text{ кВАр.}$$

Максимальная полная мощность  $S_{\text{макс.шра1}}$ , кВА

$$S_{\text{макс.шма1}} = \sqrt{P_{\text{макс.шма1}}^2 + Q_{\text{макс.шма1}}^2}, \quad (13)$$

$$S_{\text{макс.шма1}} = \sqrt{445,278^2 + 300,131^2} = 536,983 \text{ кВА.}$$

Максимальный ток  $I_{\text{макс.шма1}}$ , А

$$I_{\text{макс.шма1}} = \frac{S_{\text{макс.шма1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (14)$$

$$I_{\text{макс.шра1}} = \frac{536983}{\sqrt{3} \cdot 380} = 815,891 \text{ А.}$$

Распределение оборудования на шинопровода и распределительные пункты выполнено с учетом расположения оборудования и их номинальных мощностей. Всего принято 5 распределительных шинопроводов, 5 распределительных пунктов и один магистральный шинопровод [30].

Расчет оставшихся магистральных шинопроводов выполнен аналогичным способом. Результаты занесены в таблицу 4.

Таблица 4 – Полученные данные электрических нагрузок

Наименование электроприемников	Количество электроприемников п, шт.	Установленная мощность электроприемника		Модуль сборки m	Коэффициент использования $K_{\text{м}}$	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников $n_{\text{э}}$	Коэффициент максимума $K_{\text{м}}$	Максимальная мощность			Максимальный ток $I_{\text{max}}$ , А
		Одного $P_{\text{н}}$ оди.	Группы $P_{\text{н}}$ , общ.				Активная мощность $P_{\text{см}}$ , кВт	Реактивная мощность $Q_{\text{см}}$ кВАр			Пктивная $P_{\text{max}}$ , кВт	Реактивная $Q_{\text{max}}$ , кВАр	Полная $S_{\text{max}}$ , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Прокатный станок	8	3,7	29,6	–	0,17	0,65/1,169	5,032	5,882	–	–	–	–	–	–
Станок фрезерный	2	7,6	15,2	–	0,17	0,65/1,169	2,584	3,021	–	–	–	–	–	–
Станок радиально сверлильный	2	8,6	17,2	–	0,17	0,65/1,169	2,924	3,418	–	–	–	–	–	–
Пресс кривошипный	2	11	22	–	0,17	0,65/1,169	3,74	4,372	–	–	–	–	–	–
ШРА1	14	–	84	2,973	0,17	0,65/1,169	14,28	16,693	14	1,77	25,276	16,693	30,291	46,022
Пресс фрикционный	3	12,7	38,1	–	0,17	0,65/1,169	6,477	7,572	–	–	–	–	–	–
Печь отжиговая	4	55	220	–	0,75	0,95/0,329	165	54,285	–	–	–	–	–	–
ТАЛЬ	1	25	25	–	0,05	0,5/1,73	1,25	2,163	–	–	–	–	–	–
ШРА2	8	–	283,1	4,33	0,61	0,938/0,37	172,727	64,02	4	1,46	252,181	70,422	261,829	397,808
Вертикально намоточный станок	3	12,7	38,1	–	0,7	0,85/0,62	26,67	16,535	–	–	–	–	–	–
Штамповочный автомат	6	14	84	–	0,17	0,65/1,169	14,28	16,693	–	–	–	–	–	–
ШРА3	9		122,1	1,102	0,335	0,721/0,811	40,95	33,228	9	1,65	67,568	36,55	76,82	116,716
Машина холодной сварки	2	28	56	–	0,2	0,7/1,02	11,2	11,424	–	–	–	–	–	–
Станок шлифовальный	4	7,5	30	–	0,17	0,65/1,169	5,1	5,962	–	–	–	–	–	–
Штамп фасонный	2	5	10	–	0,2	0,65/1,169	2	2,338	–	–	–	–	–	–
Кран балка	1	16	16	–	0,05	0,5/1,73	0,8	1,384	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ковочный молот	2	40	80	–	0,2	0,65/1,169	32	37,41	–	–	–	–	–	–
ПР1	2	–	80	1	0,2	0,65/1,17	32	37,41	2	2,64	84,48	41,151	93,97	142,773
Вентиляционная установка	4	5	20		0,6	0,8/0,75	12	9	–	–	–	–	–	–
ПР2	4	–	20	1	0,6	0,8/0,75	12	9	4	1,46	17,5	9,9	20,1	30,5
Пресс электромеханический	4	21	84	–	0,17	0,65/1,169	28,56	33,387	–	–	–	–	–	–
ПР3	4	–	84	1	0,17	0,65/1,169	28,56	33,387	4	3,11	88,822	36,726	96,115	146,032
Ковочный молот	2	40	80	–	0,2	0,65/1,169	32	37,41	–	–	–	–	–	–
ПР4	2	–	80	1	0,2	0,65/1,17	32	37,41	2	2,64	84,48	41,151	93,97	142,773
Пресс электромеханический	4	21	84	–	0,17	0,65/1,169	28,56	33,387	–	–	–	–	–	–
ПР5	4	–	84	1	0,17	0,65/1,169	28,56	33,387	4	3,11	88,822	36,726	96,115	146,032
ШРА4	25	–	460	8	0,331	0,663/1,128	152,22	171,702	23	1,28	194,842	171,702	259,702	394,576
Прокатный станок	5	3,7	18,5	–	0,17	0,65/1,169	3,145	3,677	–	–	–	–	–	–
Станок фрезерный	2	7,6	15,2	–	0,17	0,65/1,169	2,584	3,021	–	–	–	–	–	–
Станок радиально сверлильный	2	8,6	17,2	–	0,17	0,65/1,169	2,924	3,418	–	–	–	–	–	–
Пресс кривошипный	2	11	22	–	0,17	0,65/1,16	3,74	4,372	–	–	–	–	–	–
ШРА5	11	–	72,9	2,973	0,17	0,65/1,169	12,393	14,488	11	1,96	24,29	14,488	28,283	42,972
ШМА	67	–	1022,1	14,865	0,389	0,798/0,755	397,57	300,131	67	1,12	445,278	300,131	536,983	815,861
Освещение	64	0,4	25,6	–	–	0,95/0,33	25,344	8,364	–	–	25,344	8,364	26,688	56,768
Итого с освещением	–	–	1047,7	–	0,4	0,81/0,729	422,914	308,495	–	–	470,622	308,495	562,72	854,964
Компенсация	–	–	–	–	–	–	–	-120	–	–	–	–	–	–
Итого с компенсацией	–	–	1047,7	–	0,4	0,95/0,33	422,914	188,495	–	–	470,622	188,495	506,967	770,257

## 2.2 Расчет нагрузки осветительных сетей

Проведение расчета осветительной нагрузки необходимо для обеспечения максимального комфорта рабочего персонала выполняющих работу в любом помещении.

При установке освещения необходимо учитывать размеры цеха, условия помещения. Для опасных и особо опасных мощностей необходимо применять светильники с соответствующей степенью защиты от этих факторов.

Современные технологии позволяют обеспечить максимально экономичными приборами освещения при минимальных затратах.

Подключение осветительной нагрузки необходимо на отдельную группу и выбрать соответствующий кабель проходящий по всем параметрам.

Необходимо учитывать высоту самого цеха, так, как это влияет на распределение светового потока.

Исходные параметры

– напряжение питающей сети 220/380 В

– размеры цеха  $A \times B \times H = 40 \times 56 \times 10$  м

Высота размещения рассчитываемых светильников над освещаемой поверхностью  $H_p$ , м

$$H_p = H - (h_p + h_c), \quad (15)$$

$$H_p = 10 - (0,8 + 1,2) = 8 \text{ м.}$$

Расстояние между рядами светильников  $L$ , м

$$L = H_p \cdot \lambda, \quad (16)$$

$$L = 8 \cdot 0,6 = 4,8 \text{ м, принимаем } 5 \text{ м,}$$

$$L = 8 \cdot 0,6 = 4,8, \text{ принимаем } 4 \text{ м.}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены  $l$ , м

$$l = 0,5 \cdot L, \quad (17)$$

$$l = 0,5 \cdot 5 = 3 \text{ м},$$

$$l = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ м}.$$

Количество рядов светильников по ширине  $N_B$ , шт

$$N_B = \frac{B - 2l}{L} + 1, \quad (18)$$

$$N_B = \frac{56 - 2 \cdot 3}{5} + 1 = 11 \text{ шт.}$$

Количество рядов светильников по длине  $N_A$ , шт

$$N_A = \frac{A - 2l}{L} + 1, \quad (18)$$

$$N_A = \frac{40 - 2 \cdot 2}{4} + 1 = 10 \text{ шт.}$$

Расстояние между светильника полученные по данным расчетов соответствуют по вертикали 4м; по горизонтали 5м; от стены до первого ряда светильника по вертикали 2м; от стены до первого ряда светильника по горизонтали 3м.

Количество светильников для цехового помещения  $N_{\text{общ}}$ , шт

$$N_{\text{общ}} = N_A \cdot N_B, \quad (19)$$

$$N_{\text{общ}} = 11 \cdot 10 = 110 \text{ шт.}$$

Расчётное значение светового потока  $\Phi_p$ , лм

$$\Phi_{p.} = \frac{A \cdot B \cdot E \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{общ}} \cdot \eta}, \quad (20)$$

$$\Phi_{p.} = \frac{56 \cdot 40 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{110 \cdot 0,8} = 12600 \text{ лм.}$$

Предварительно выбран светильник ARCTIC SMS/SAN235 3×73 с 3 лампами типа T5 мощностью по 73 Вт со световым потоком 6650 лм  $\eta = 0,86$   $\cos\varphi > 0,86$ [6].

Расчётное значение нормируемой освещенности  $E_{p.}$ , лк

$$E_{p.} = \frac{\Phi_{л.} \cdot E}{\Phi_{p.}}, \quad (21)$$

$$E_{p.} = \frac{19950 \cdot 300}{12600} = 475 \text{ лк.}$$

Проверка коэффициента запаса  $K_3$

$$K_3 = \frac{E_{p.}}{E_{н}}, \quad (22)$$

$$K_3 = \frac{475}{300} = 1,58.$$

Окончательно к установке выбран светильник ARCTIC SMS/SAN235 3×73 [17] с 3 лампами типа T5 мощностью по 73 Вт со световым потоком 6650 лм  $\eta = 0,86$   $\cos\varphi > 0,86$ .

Электрический расчёт освещения

Мощность активной осветительной нагрузки  $P_{\text{осв}}$ , кВт

$$P_{\text{осв}} = P_{л} \cdot N \cdot K_c \cdot K_{\text{пра}}, \quad (23)$$

$$P_{\text{осв}} = 73 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot (11 \cdot 10) \cdot 0,95 \cdot 1,2 = 27,462 \text{ кВт.}$$

Мощность реактивной осветительной нагрузки  $Q_{\text{осв}}$ , кВАр

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (24)$$
$$Q_{\text{осв}} = 27,462 \cdot 0,33 = 9,062 \text{ кВАр.}$$

Полная мощность осветительной нагрузки  $S_{\text{осв}}$ , кВА

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2}, \quad (25)$$
$$S_{\text{осв}} = \sqrt{27,462^2 + 9,062^2} = 28,919 \text{ кВА.}$$

Максимальный ток освещения  $I_{\text{осв}}$ , А

$$I_{\text{осв}} = \frac{S_{\text{осв}} \cdot K_{\text{пуск}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (26)$$
$$I_{\text{осв}} = \frac{28919 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 380} = 61,513 \text{ А.}$$

Номинальный ток теплового расцепителя  $I_{\text{т.р.}}$ , А

$$I_{\text{т.р.}} = 1,15 \cdot I_{\text{осв}}, \quad (27)$$
$$I_{\text{т.р.}} = 1,15 \cdot 61,513 = 70,74 \text{ А.}$$

Выбран автоматический выключатель ВА51-31-1 с техническими параметрами  $I_{\text{ном}} = 100 \text{ А}$ ,  $I_{\text{т.р.}} = 100 \text{ А}$  [14].

Выбор сечения токоведущей жилы кабеля  $S$ , мм<sup>2</sup>

$$S = 25 \text{ мм}^2 \text{ с } I_{\text{доп.}} = 95 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 61,513 \text{ А.}$$

Подключение осветительного щитка к ячейке КТП трансформатора выполнено кабелем ВВГ<sub>нг</sub> 5×25 с  $I_{\text{доп.}} = 95 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 61,513 \text{ А}$  с медными жилами. [9].

### 2.3 Компенсация реактивной мощности

Выполнение компенсации реактивной мощности обуславливается необходимостью экономии при эксплуатации распределительных сетей и увеличение качества напряжения. Экономия это прежде всего эффективное использование электроэнергии и соответствующей работой всех промышленных подразделений.

Компенсационные установки широко применяются относительно других возможных методов компенсации.

Правильный выбор компенсационной установки для электрооборудования включает в себя определение электрических параметров и состояние энергосистемы всего производства. Все это позволяет максимально эффективно выбрать компенсационную установку и обеспечивает ее надежную работу [18].

Номинальная реактивная мощность необходимой установки  $Q_{\text{к}}$ , кВАр

$$Q_{\text{к.р.}} = P_{\text{см}} \cdot \alpha \cdot (\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_1), \quad (28)$$

$$Q_{\text{к.р.}} = 472,74 \cdot 0,9 \cdot (0,724 - 0,363) = 153,59 \text{ кВАр.}$$

Предварительно выбрана компенсирующая установка типа КРМ-0,4-150УЗ с номинальной реактивной мощностью 150 кВАр [15].

Проверка на фактический  $\text{tg}\varphi$

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт.}} = \text{tg}\varphi - \frac{Q_{\text{к.р.}}}{P_{\text{см}} \cdot \alpha}, \quad (29)$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт.}} = 0,724 - \frac{150}{472,74 \cdot 0,9} = 0,371.$$

Фактический  $\operatorname{tg}\varphi = 0,371$  соответствует  $\cos\varphi = 0,94$

Окончательно выбрана компенсирующая установка КРМ-0,4-150УЗ[8].

## 2.4 Выбор числа и мощности трансформатора

Выбор силовых трансформаторов определяется множеством факторов, влияющих на последующую эксплуатацию.

Число и мощность силовых трансформаторов соответствует характеру нагрузок и ее величине, размещение, категорией по электроснабжению и экономическим параметрам.

По количеству трансформаторов применяются в основном двух- и трех-трансформаторные подстанции.

Размещать цеховые трансформаторы необходимо максимально близко к питающимся с него электрооборудованиям, и располагаться в специальных помещениях.

Для необходимого оборудования должно соблюдаться условие [16]:

$$S_{\text{тр}} \geq S_{\text{макс.рас}} \quad (30)$$

Потери активной мощности в трансформаторе  $\Delta P_{\text{тр}}$ , кВт

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot S_{\text{макс}} , \quad (31)$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot 498,824 = 9,976 \text{ кВт.}$$

Потери реактивной мощности в трансформаторе  $\Delta Q_{\text{тр}}$ , кВАр

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot S_{\text{макс}} , \quad (32)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot 498,824 = 49,882 \text{ кВАр.}$$

Полные потери мощности в трансформаторе  $\Delta S_{\text{тр}}$ , кВА

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{\Delta P_{\text{тр}}^2 + \Delta Q_{\text{тр}}^2}, \quad (33)$$

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{9,976^2 + 49,882^2} = 50,87 \text{ кВА.}$$

Полная мощность на высокой стороне трансформатора  $S_{\text{тр.ВН}}$ , кВА

$$S_{\text{тр.ВН}} = S_{\text{макс}} + \Delta S_{\text{тр}}, \quad (34)$$

$$S_{\text{тр.ВН}} = 498,824 + 50,87 = 549,694 \text{ кВА.}$$

Расчетная мощность выбираемого трансформатора соответствующая условия  $S_{\text{тр}}$ , кВА

$$630 \geq 549,694$$

Выбираю трансформатор стандартной мощности КТП 630-10/0,4

Коэффициент загрузки трансформатора  $K_3$

$$K_3 = \frac{S_{\text{макс}}}{S_{\text{Т}}}, \quad (35)$$

$$K_3 = \frac{549,694}{630} = 0,87.$$

Окончательно к установке выбрана подстанция типа КТП 630-10/0,4 [15] с трансформатором типа ТСЗ-630/10, мощностью 630 кВА который обеспечивает электроснабжение цеха как в нормальном так и в аварийном режиме.

## 2.5 Защитные аппараты, расчет и выбор аппаратов защиты

Защита электрооборудования производится от перегрузки и токов короткого замыкания. Для этого применяют различное оборудование, такое,

как автоматические выключатели и предохранители, выполняющие функции аварийного отключения.

Автоматические выключатели используют электромагнитный и тепловой расцепитель, а предохранители обеспечивают отключение путем применения плавкой вставки и дугогасящей среды.

Правильный выбор защитных аппаратов обеспечивает надежную защиту всего электрооборудования и позволяет в случае необходимости быстро вернуть их в работу.

Выбор производится путем определения номинальных и пусковых токов отдельных электроприемников.

Расчёт группы прокатных станков

Номинальный ток электроприёмника  $I_{НОМ1}, А$

$$I_{НОМ1} = \frac{P_{НОМ1}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (36)$$
$$I_{НОМ1} = \frac{3700}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,82 \cdot 0,9} = 7,617 А.$$

Номинальный ток теплового расцепителя  $I_{Т.р.1}, А$

$$I_{Т.р.1} = 1,15 \cdot I_{НОМ1}, \quad (27)$$
$$I_{Т.р.1} = 1,15 \cdot 7,617 = 8,76 А.$$

Пусковой ток электроприёмника  $I_{ПУСК1}, А$

$$I_{ПУСК1} = I_{НОМ1} \cdot K_{п}, \quad (37)$$
$$I_{ПУСК1} = 7,617 \cdot 5 = 38,085 А.$$

Ток электромагнитного расцепителя  $I_{ЭЛ.р.1}, А$

$$I_{\text{эл.р.1}} = I_{\text{пуск1}} \cdot 1,25, \quad (38)$$

$$I_{\text{эл.р.1}} = 38,085 \cdot 1,25 = 47,606 \text{ A.}$$

Выбран автоматический выключатель ВА51-16 с  $I_{\text{ном}} = 16 \text{ A}$ ,  $I_{\text{т.р.}} = 16 \text{ A}$ ,  $I_{\text{эл.р.}} = 160 \text{ A}$  [14]

Расчеты занесены в таблицу 5.

Выводы по разделу 2:

Произведен полный расчет мощности электроприемников механического цеха, проведено распределение нагрузки на разные шинопровода и распределительные пункты. Выбор осветительной нагрузки с учетом размеров и рациональной расстановки светильников для благоприятной работы персонала. Выбраны светильники ARCTIC SMS/SAN235 3×73. Выбор цеховой компенсирующей установки для экономии электроэнергии КРМ-0,4-150УЗ мощностью 150 квар. Расчет и выбор цехового подстанции КТП 630-10/0,4 с трансформатором ТСЗ-630/10.

Таблица 5 – Монтажная таблица

Наименование электроприёмников	Количество электроприёмников в группах, п, шт	Номинальная мощность электроприёмника $P_{нп}$ , кВт	Номинальный ток электроприёмника $I_{ном}$ , А	Пусковой ток электроприёмника $I_{пуск}$ , А	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{эл.р.}$ , А		Номинальный ток электромагнитного расцепителя $I_{эм}$ , А		Номинальный ток аппарата $I_{ном.}$ , А	Тип аппарата	Сечение кабеля S, мм <sup>2</sup>	Допустимый длительный ток $I_{дол.}$ , А
					Расчётное значение	Стандартное значение	Расчётное значение	Стандартное значение				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Прокатный станок	8	3,7	7,617	38,085	8,76	16	47,606	160	16	ВА 51-16	ВВГ 4x1,5	16
Станок фрезерный	2	7,6	15,65	78,25	18	20	97,8	250	25	ВА 51-25	ВВГ 4x2,5	25
Станок радиально сверлильный	2	8,6	17,7	88,5	20,36	25	110,63	250	25	ВА 51-25	ВВГ 4x2,5	25
Пресс кривошипный	2	11	22,65	113,25	26	31,5	141,6	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x2,5	25
ШРА-1 «Басбар» E-Line , ВА 51-29, $I_{ном.} = 63$ А												
Пресс фрикционный	3	12,7	26,15	130,75	30,1	31,5	163,44	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x4	30
Печь отжиговая	4	55	113,23	566,15	130,2	125	707,7	1600	160	ВА 51-33	ВВГ 4x50	145
ТАЛЬ	1	25	51,5	257,5	59,23	63	321,9	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x16	75
Вертикально намоточный станок	3	12,7	26,15	130,75	30,1	21,5	163,44	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x4	30
Штамповочный автомат	6	14	28,8	144	33,12	21,5	180	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x4	30

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ШПА-3 «Басбар» E-Line , BA 52-39, I <sub>ном.</sub> = 100 А												
Машина холодной сварки	2	28	57,64	288,2	66,3	63	360,25	630	63	BA 51-29	BBГ 4x16	75
Станок шлифовальный	4	7,5	15,44	77,2	17,76	20	96,5	250	25	BA 51-25	BBГ 4x2,5	25
Штамп фасонный	2	5	10,3	51,5	11,85	12,5	64,4	160	16	BA 51-16	BBГ 4x1,5	16
Кран балка	1	16	32,94	164,7	37,9	40	205,88	630	63	BA 51-29	BBГ 4x6	40
Ковочный молот	2	40	82,35	411,75	94,7	100	514	1000	100	BA 51-31	BBГ 4x25	90
ПР-1 BA 51-33, I <sub>ном.</sub> = 160 А												
Вентиляционная установка	4	5	10,294	51,47	11,838	16	64,338	160	16	BA51-16	BBГ 4x1,5	16
ПР-2 BA 51-29, I <sub>ном.</sub> = 63 А												
Пресс электромеханический	4	21	43,23	216,15	49,7	50	270,2	630	63	BA 51-29	BBГ 4x6	40
ПР-3 BA 51-33, I <sub>ном.</sub> = 160 А												
Ковочный молот	2	40	82,35	411,75	94,7	100	514	1000	100	BA 51-31	BBГ 4x25	90
ПР-4 BA 51-33, I <sub>ном.</sub> = 160 А												
Пресс электромеханический	4	21	43,23	216,15	49,7	50	270,2	630	63	BA 51-29	BBГ 4x6	40
ПР-5 BA 52-33, I <sub>ном.</sub> = 160 А												
ШПА4 «Басбар» E-Line BA 52-39, I <sub>ном.</sub> = 630 А												
Прокатный станок	5	3,7	7,617	38,085	8,76	16	47,606	160	16	BA 51-16	BBГ 4x1,5	16
Станок фрезерный	2	7,6	15,65	78,25	18	20	97,8	250	25	BA 51-25	BBГ 4x2,5	25
Станок радиально сверлильный	2	8,6	17,7	88,5	20,36	25	110,63	250	25	BA 51-25	BBГ 4x2,5	25
Пресс кривошипный	2	11	22,65	113,25	26	31,5	141,6	630	63	BA 51-29	BBГ 4x2,5	25
ШПА5 «Басбар» E-Line, BA 51-29, I <sub>ном.</sub> = 63А												
ШМА «Басбар» E-Line, BA 53-41, I <sub>ном.</sub> = 1000 А												

### 3 Расчет электрических нагрузок завода

Электрические нагрузки завода включают в себя полученные данные каждого отдельного цеха, которые используются для определения полной потребляемой мощности. Это влияет на затраты электроэнергии, которые необходимо заранее определить.

При выполнении расчета электрических нагрузок на проектируемых промышленных предприятия важно учитывать режим его работы, мощность, напряжение, род тока и категорию надёжность электроприёмников [2].

Потребления заводом мощности, выбора числа и мощности трансформаторов.

Коэффициенты использования и мощности принимаются из данных отдельно для каждого цеха, в соответствии с типом и его назначением [20].

Средняя активная мощность цеха  $P_{c,n}$ , кВт

$$P_{c,n} = K_{и} \cdot \sum P_{н} , \quad (39)$$
$$P_{c,1} = 0,3 \cdot 150 = 45 \text{ кВт.}$$

Средняя реактивная мощность цеха  $Q_{c,n}$ , кВАр

$$Q_{c,n} = P_{c,n} \cdot \text{tg } \varphi, \quad (40)$$
$$Q_{c,1} = 45 \cdot 1,02 = 45,9 \text{ кВАр.}$$

Расчетный коэффициент находится по справочным материалам

$$K_{p,n} = f(K_{и}; n_{э}), \quad (41)$$
$$K_{p,1} = 0,85.$$

Активная мощность отдельного цеха  $P_{p,n}$ , кВт

$$P_{p,n} = K_p \cdot P_c, \quad (42)$$

$$P_{p,1} = 0,85 \cdot 45 = 38,25 \text{ кВт.}$$

Реактивная мощность отдельного цеха  $Q_{p,n}$ , кВАр

$$Q_{p,n} = 1,1 \cdot Q_c \text{ при } n_э \leq 10, \quad (43)$$

$$Q_{p,n} = Q_c \text{ при } n_э > 10, \quad (44)$$

$$Q_{p,1} = 45,9 \text{ кВАр.}$$

Полная мощность отдельного цеха  $S_{p,n}$ , кВА

$$S_{p,n} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (45)$$

$$S_{p,1} = \sqrt{38,25^2 + 45,9^2} = 59,748 \text{ кВА.}$$

Коэффициент использования для всей низковольтной нагрузки

$$K_{и} = \frac{\sum P_c}{\sum P_H}, \quad (46)$$

$$K_{и} = \frac{7954,414}{14570,7} = 0,55.$$

Тангенс для всей низковольтной нагрузки  $\text{tg } \varphi$

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c}, \quad (47)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{7531,445}{7954,414} = 0,95.$$

Суммарная полная мощность  $\sum S_p$ , кВА

$$\Sigma S_p = \sqrt{\Sigma P_p^2 + \Sigma Q_p^2}, \quad (48)$$

$$\Sigma S_p = \sqrt{6662,466^2 + 7594,524^2} = 10102,735 \text{ кВА.}$$

Необходимые расчеты для остальных цехов выполнены аналогично.

Результаты занесены в таблицу 6.

Выводы по разделу 3:

Все произведенные расчеты и проделанная работа необходима для последующих расчетов и выборов необходимого оборудования, распределения цехов по группа, расположения цеховых трансформаторных подстанций, выбора компенсирующих установок и трансформаторов в соответствии с группой по электробезопасности.

Составлена таблица расчета электрических нагрузок которая необходима для проведения дальнейших расчетов системы электроснабжения предприятия.

Таблица 6 – Рассчитанные данные нагрузок цехов

Название цеха	$P_H$ , кВт	$n_{\Sigma}$	$\Sigma P_H$ , кВт	$K_{И}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_C$ , кВт	$Q_C$ , кВАр	$K_P / K_O$	$P_P$ , кВт	$Q_P$ , кВАр	$S_P$ , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Гараж	—	15	150	0,3	0,7	1,02	45	45,9	0,85/ -	38,25	45,9	59,748
Склад готовой продукции №1	—	6	193	0,3	0,7	1,02	57,9	59,058	0,95/ -	55,005	64,964	85,123
Градирия	—	7	85	0,8	0,8	0,75	68	51	0,91/ -	61,88	56,1	83,524
Компрессорная	—	8	140	0,8	0,8	0,75	112	84	0,91/ -	101,92	92,4	137,57
Насосная станция	—	6	506	0,8	0,8	0,75	404,8	303,6	0,91/ -	368,368	333,96	497,217
Производственный корпус №1	—	87	3155	0,6	0,7	1,02	1893	1930,86	0,8/ -	1514,4	1930,86	2453,901
Административно-бытовой корпус	—	21	534	0,5	0,7	1,02	267	272,34	0,85/ -	226,95	272,34	354,507
Котельная	—	24	1218	0,6	0,75	0,88	730,8	643,104	0,9/ -	657,72	643,104	919,88
Арматурный цех	—	80	1987	0,4	0,8	0,75	794,8	596,1	0,7 / -	556,36	596,1	815,4
Бетоносмесительный цех №1	—	23	404	0,7	0,7	1,02	282,8	288,456	0,9 / -	254,52	288,456	384,691
Производственный корпус №2	—	70	3538	0,6	0,7	1,02	2122,8	2165,256	0,8 / -	1698,24	2165,256	2751,791
Мазутохранилище	—	5	84	0,6	0,6	1,33	50,4	67,032	0,94/ -	47,376	73,735	87,643
Депо	—	12	105	0,6	0,7	1,02	63	64,26	0,9/ -	56,7	64,26	85,699

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Бетоносмесительный цех №2	—	39	530	0,7	0,7	1,02	371	378,42	0,85/ -	315,35	378,42	492,592
Склад заполнителей	—	16	501	0,3	0,7	1,02	150,3	153,306	0,85 / -	129,455	153,306	200,652
Склад готовой продукции №2	—	7	216	0,3	0,7	1,02	64,8	66,096	0,95 / -	61,56	72,706	95,27
Склад цемента	—	10	177	0,3	0,7	1,02	53,1	54,162	0,9 / -	47,79	54,162	72,232
Механический цех	—	67	1047,7	0,4	0,81	0,72	422,914	308,495	1,12	470,622	308,495	562,72
ИТОГО	—	503	14570,7	0,55	0,725	0,95	7954,414	7531,445	—	6662,466	7594,524	10102,735

#### **4 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций. Выбор компенсирующих установок**

Все цеховые подстанции должны располагаться максимально рационально, т.е. приближенные к главной понизительной подстанции и питающихся от них цехов [25].

Трансформаторы и компенсирующие установки выбираются максимально приближенные к полученным данным расчетов, при этом они должны иметь запас мощности.

Важным пунктом является разделение цехов на группы, которое выполняется с учетом расположения ближайших цехов не превышающих определенный порог мощности [19].

Питание цехов будет осуществляется по следующим группам:

- Цех 6
- Цех 11;
- Цех 18;
- Цеха 1,3,8,12,15,16;
- Цеха 2,4,5,7;
- Цеха 9,10,13,14,17.

Категории надежности цехов выбраны из собственных предположений.

Расчет отдельно стоящих цехов категории надежности цехов 2,3.

Мощность компенсирующей установки на напряжение 0,4 кВ  $Q_{к.р.п}$ ,  
квар

$$Q_{к.р.п} = \alpha \cdot P_p \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_{к.р}), \quad (49)$$

$$Q_{к.р.2} = 0,9 \cdot 1514,4 \cdot (1,02 - 0,33) = 940,442 \text{ кВАр.}$$

Для цеха 3-й категории надежности, то устанавливается одна КУ, а для цехов второй категории соответственно по два. Они выбраны: для 6 цеха два

по КРМ-0,4-500УЗ; для 11 цеха два по КРМ-0,4-550УЗ; для 18 цеха КРМ-0,4-150УЗ.

Полная расчетная мощность цеха с учетом компенсации  $S_{p,n}$ , кВА

$$S_{p,n} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{к.р})^2}, \quad (50)$$

$$S_{p,1} = \sqrt{1514,4^2 + (1930,86 - 1000)^2} = 1777,613 \text{ кВА.}$$

Плотность электрической нагрузки цеха  $\sigma_n$

$$\sigma_n = \frac{S_{p,n}}{F_{ц}}, \quad (51)$$

$$\sigma_1 = \frac{1777,613}{1670} = 1,064 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}.$$

Максимальная мощность трансформатора  $S_{T,n}$ , кВА

$$S_{T,n} \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T}, \quad (52)$$

$$S_{T,1} \geq \frac{1777,613}{0,8 \cdot 2} = 1111,008 \text{ кВА.}$$

В соответствии с группой по электробезопасности выбираю по два трансформатора: ТСЗ-1250/0,4 на 1250 для 6 цеха на 1250 кВа; для 11 цеха по два трансформатора ТСЗ-1600/0,4 на 1600 кВА; для 18 цеха ТСЗ-630 на 630 кВа.

Совместно стоящие цеха имеют категорию надежности - 1,2,3.

Суммарная активная мощность цехов  $\sum P_{расч,n}$ , кВт

$$\sum P_{расч.4} = P_{p,1} + P_{p,3} + P_{p,8} + P_{p,12} + P_{p,15} + P_{p,16}$$

$$\begin{aligned}\sum P_{\text{расч.4}} &= 38,25 + 61,88 + 657,72 + 47,376 + 129,455 + 61,56 = \\ &= 996,241 \text{ кВт}\end{aligned}$$

Суммарная реактивная мощность цехов  $\sum Q_{\text{расч.н}}$ , кВАр

$$\begin{aligned}\sum Q_{\text{расч.4}} &= Q_{\text{р.1}} + Q_{\text{р.3}} + Q_{\text{р.8}} + Q_{\text{р.12}} + Q_{\text{р.15}} + Q_{\text{р.16}} = \\ &= 45,9 + 56,1 + 643,104 + 73,735 + 153,306 + 72,706 = 1044,851 \text{ кВАр}\end{aligned}$$

Расчет  $\text{tg } \varphi_n$

$$\begin{aligned}\text{tg } \varphi_4 &= \frac{\sum Q_{\text{р.4}}}{\sum P_{\text{р.4}}} & (47) \\ \text{tg } \varphi_4 &= \frac{1044,851}{996,241} = 1,049.\end{aligned}$$

Мощность компенсирующей установки  $Q_{\text{к.расч.н}}$ , кВАр

$$Q_{\text{к.расч.4}} = 0,9 \cdot 996,241 \cdot (1,049 - 0,33) = 644,668 \text{ кВАр}$$

Так как цеха 1,2,3 категории надежности, то устанавливаются две КУ. Они выбраны: для 1,3,8,12,15,16 цехов КРМ-0,4-325УЗ; для 2,4,5,7 цехов КРМ-0,4-240УЗ; для 9,10,13,14,17 цехов КРМ-0,4-450УЗ.

Полная мощность цехов с учетом компенсации  $S_{\text{р.н}}$ , кВА

$$S_{\text{р.4}} = \sqrt{996,241^2 + (1044,851 - 650)^2} = 1071,636 \text{ кВА}$$

Плотность электрической нагрузки цеха  $\sigma_n$

$$\sigma_4 = \frac{1071,636}{11360} = 0,094 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$$

Максимальная мощность трансформатора  $S_{T,n}$ , кВА

$$S_{T,4} \geq \frac{1071,636}{0,7 \cdot 2} = 765,454 \text{ кВА}$$

В соответствии с полученными данными принимаю по два трансформатора: для 13,8,12,15,16, цехов ТСЗ-1000-10/0,4 на 1000 кВа; для 2,4,5,7 цехов ТСЗ-630-10/0,4 на 630 кВА; для 9,10,13,14,17 цехов ТСЗ-1000-10/0,4 на 1000 кВа.

Выводы по разделу 4:

Произведен расчет и выбор цеховых трансформаторов и компенсирующих установок соответствующие всем необходимым параметрам..

Таблица 7 – Полученные расчетные данные оборудования

Наименование цехов предприятия	Категория надежности	F <sub>ц</sub> , м <sup>2</sup>	б, кВА/м <sup>2</sup>	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>к.р.</sub> , кВАр	Q <sub>p</sub> , кВАр	S <sub>p</sub> , кВА	Принято к установке		
								КУ	S <sub>н.т.</sub> , кВА	n <sub>т</sub> / n <sub>ку</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Производственный корпус №1	2	1670	1,064	1514,4	940,442	1930,86	1777,613	КPM-0,4-500У3	1250	2
Производственный корпус №2	2	575	3,486	1698,24	1054,607	2165,256	2004,692	КPM-0,4-550У3	1600	2
Механический цех	3	2240	0,245	470,622	153,59	308,495	549,694	КPM-0,4-150У3	630	1
Гараж	3	11360	0,094	996,241	644,668	1044,851	1071,636	КPM-0,4-325У3	1000	2
Градирня	2									
Котельная	1									
Мазутохранилище	3									
Склад заполнителей	2									
Склад готовой продукции №2	3									
Склад готовой продукции №1	3	28950	0,028	752,243	463,758	763,664	803,942	КPM-0,4-240У3	630	2
Компрессорная	1									
Насосная станция	2									
Административно-бытовой корпус	3									

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Арматурный цех	2	36400	0,036	1230,72	872,827	1376,398	1319,707	КРМ-0,4-450У3	1000	2
Бетоносмесительный цех №1	1									
Депо	3									
Бетоносмесительный цех №2	1									
Склад цемента	2									
Суммарная полная мощность цехов, $\sum S_p$ , кВА:							7527,284			

## 5 Выбор расположения ГПП. Расчет типа, числа и мощности трансформаторов ГПП

Расположение главной понизительной подстанции обусловлено отсутствием места и необходимых условий внутри завода, и установлена вблизи, как было указано на начальном плане расположения.

Для главной понизительной подстанции для определения числа и мощности трансформаторов необходимо учесть группу электроснабжения завода, аварийные режимы, расстояние от источника питания.

Для потребителей 3-й категории устанавливается один трансформатор, а для 1-й и 2-й категории электроснабжения два трансформатора. Необходимо учитывать, что в аварийных случаях нагрузка полностью переходит на второй трансформатор. Поэтому при выборе необходимо учитывать все возможные факторы [28].

Длина линии установлена 15 км.

Активные потери на цеховых трансформаторах  $\Delta P_T$ , кВт

$$\Delta P_T = \sum S_p \cdot 0,02, \quad (53)$$

$$\Delta P_T = 7527,284 \cdot 0,02 = 150,54 \text{ кВт.}$$

Суммарная активная мощность по всему предприятию  $P_{pp}$ , кВт

$$P_{pp} = P_p + \Delta P_T, \quad (54)$$

$$P_{pp} = 6662,466 + 150,54 = 6813,006 \text{ кВт.}$$

Величина рационального напряжения  $U_{рац.}$ , кВ

$$U_{рац.} = 4,34 \cdot \sqrt{L + 0,016 \cdot P_{pp}}, \quad (55)$$

$$U_{рац.} = 4,34 \cdot \sqrt{15 + 0,016 \cdot 6813,006} = 48,329 \text{ кВ.}$$

После расчетов получается, что ближайшее стандартное значение питающего напряжения равно 110 кВ.

Экономически целесообразная реактивная мощность, потребляемая предприятием, на стороне высокого напряжения  $Q_{эс}$ , кВАр

$$Q_{эс} = P_{рн} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{эс}, \quad (56)$$

$$Q_{эс} = 6662,466 \cdot 0,54 = 3597,732 \text{ кВАр.}$$

Полная расчетная мощность промышленного предприятия  $S_{рп}$ , кВА

$$S_{рп} = \sqrt{P_{рп}^2 + Q_{эс}^2}, \quad (57)$$

$$S_{рп} = \sqrt{6813,006^2 + 3597,732^2} = 7704,591 \text{ кВА.}$$

Номинальная мощность трансформаторов на ГПП  $S_T$ , кВА

$$S_T \geq \frac{S_P \cdot K_{уч,1,2}}{K_{пер}}, \quad (58)$$

$$S_T \geq \frac{7704,591 \cdot 1}{1,3} = 5926,608 \text{ кВА.}$$

По расчетам принимаю для установки на главной понизительной подстанции два трансформатора типа ТМ-6300/110/10 мощностью 6300 кВА.

Выводы по разделу 5:

Произведен расчет и выбор двух силовых трансформаторов для главной понизительной подстанции типа ТМ-6300/110/10, которые удовлетворяют необходимые критерии для данного завода.

## 6 Расчет токов коротких замыканий

В любых электроустановках возможно возникновение токов короткого замыкания, причинами которых могут являться разные факторы.

Короткое замыкание сопровождается резким скачком тока, превышающих номинальные значения примерно в 15-20 раз, ведущих за собой повреждения или выход из строя электрооборудования

При планировке необходимо учитывать защиту от таких воздействий электрического тока, и устанавливать соответствующие аппараты защиты.

Разделяются виды коротких замыканий на следующие виды: трехфазное, двухфазное, однофазное и двойное замыкание на землю. При трехфазном и двухфазном коротком замыкании происходит замыкание фаз между собой, а при однофазном фазы на заземляющую нейтраль.

На рисунках 1,2 выполнена расчетная схема и схема замещения, которые необходимы при последующих расчетов токов короткого замыкания. На них отмечены места расположения точек коротких замыканий.

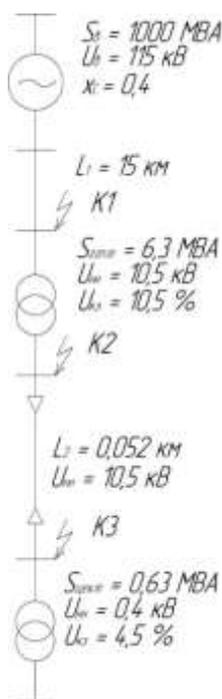


Рисунок 1 – Расчетная схема короткого замыкания

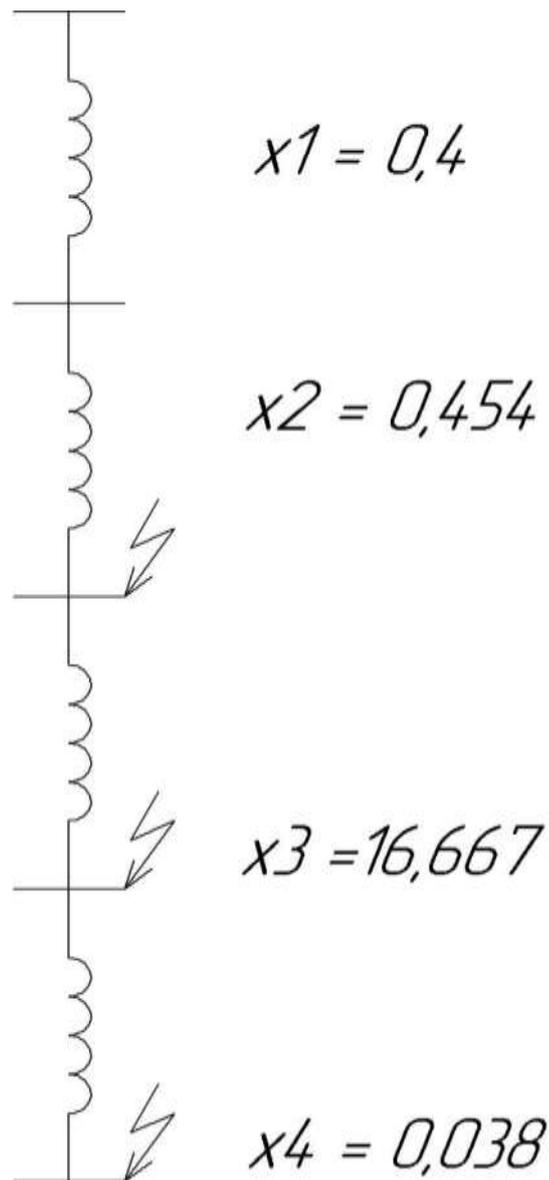


Рисунок 2 – Схема замещения

Сопротивление системы  $x_1 = 0,4$

Индуктивное сопротивление воздушной линии электропередач  $x_2$

$$x_2 = x_0 \cdot L_1 \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (59)$$

$$x_2 = 0,4 \cdot 15 \frac{1000}{115^2} = 0,454.$$

Индуктивное сопротивление трансформатора ГПП  $x_3$

$$x_3 = \frac{u_{к.3} \%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.т.}}, \quad (60)$$
$$x_3 = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{6,3} = 16,667.$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии  $x_4$

$$x_4 = x_0 \cdot L_2 \cdot \frac{S_6}{U_H^2}, \quad (61)$$
$$x_4 = 0,08 \cdot 0,052 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,038.$$

Суммарное индуктивное сопротивление до точки замыкания К1 ,  $X_{\Sigma К1}$

$$X_{\Sigma К1} = x_1 + x_2, \quad (62)$$
$$X_{\Sigma К1} = 0,4 + 0,454 = 0,854.$$

Полное сопротивление до точки замыкания К1 ,  $Z_{К1}$

$$Z_{К1} = X_{\Sigma К1}, \quad (63)$$
$$Z_{К1} = 0,854.$$

Базисный ток в первой точке К<sub>1</sub> ,  $I_{б1}$  кА

$$I_{б1} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H} \text{ кА}, \quad (64)$$
$$I_{б1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}.$$

Ток короткого замыкания точки  $K_1$ ,  $I_{K31}$  кА

$$I_{K31} = \frac{I_{\delta 1}}{X_{\Sigma K1}} \text{ кА}, \quad (65)$$
$$I_{K31} = \frac{5,02}{0,854} = 5,878 \text{ кА}.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке  $K_1$ ,  $i_{y K1}$  кА

$$i_{y K1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K31} \text{ кА}, \quad (66)$$
$$i_{y K1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,878 = 14,963 \text{ кА}.$$

Суммарное индуктивное сопротивление до точки замыкания  $K_2$ ,  $X_{\Sigma K2}$

$$X_{\Sigma K2} = x_1 + x_2 + x_3, \quad (67)$$
$$X_{\Sigma K2} = 0,4 + 0,454 + 16,667 = 17,521.$$

Полное сопротивление до точки замыкания  $K_2$ ,  $Z_{K2}$

$$Z_{K2} = X_{\Sigma K2}, \quad (63)$$
$$Z_{K2} = 17,521,$$

Базисный ток в точке  $K_2$ ,  $I_{\delta 2}$  кА

$$I_{\delta 2} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \text{ кА}, \quad (64)$$
$$I_{\delta 2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,986 \text{ кА}.$$

Ток короткого замыкания точки  $K_2$ ,  $I_{K32}$  кА

$$I_{K32} = \frac{I_{\delta 2}}{X_{\Sigma K2}} \text{ кА}, \quad (65)$$

$$I_{K32} = \frac{54,986}{17,521} = 3,138 \text{ кА}.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке  $K_2$ ,  $i_{y K2}$  кА

$$i_{y K2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K32} \text{ кА}, \quad (66)$$

$$i_{y K2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,138 = 7,988 \text{ кА}.$$

Суммарное индуктивное сопротивление до точки замыкания  $K_3$ ,  $X_{\Sigma K3}$

$$X_{\Sigma K3} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4, \quad (67)$$

$$X_{\Sigma K3} = 0,4 + 0,454 + 16,667 + 0,038 = 17,559.$$

Полное сопротивление до точки замыкания  $K_3$ ,  $Z_{K3}$

$$Z_{K3} = X_{\Sigma K3}, \quad (63)$$

$$Z_{K3} = 17,559.$$

Базисный ток в точке  $K_3$ ,  $I_{\delta 3}$  кА

$$I_{\delta 3} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H} \text{ кА}, \quad (64)$$

$$I_{\delta 3} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,986 \text{ кА}.$$

Ток короткого замыкания точки К<sub>3</sub>, I<sub>кз3</sub> кА

$$I_{кз3} = \frac{I_{63}}{X_{\Sigma К3}} \text{ кА}, \quad (65)$$

$$I_{кз2} = \frac{54,986}{17,559} = 3,131 \text{ кА}.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К<sub>3</sub>, i<sub>у кз</sub> кА

$$i_{у кз} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз3} \text{ кА}, \quad (66)$$

$$i_{у кз} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,131 = 7,97 \text{ кА}.$$

Выводы по разделу 6:

Выполнен необходимый расчет для токов короткого замыкания в установленных точках, данные которых необходимы для выбора аппаратов защиты.

## 7 Выбор и проверка оборудования на стороне 10 кВ ГПП

Важным этап при проектировании сетей электроснабжения является выбор необходимого защитного и вспомогательного оборудования.

В роли защитного оборудования для высоковольтных сетей в основном выступают вакуумные, элегазовые и уже устаревшие, но достаточно надежные масляные и маломасляные выключатели.

Вспомогательным оборудованием являются приборы выполняющие функции контроля за работоспособностью электрооборудования. Постоянно ведется контроль за показаниями амперметров, вольтметров, ваттметров, блоков комбинированного подсчета [27].

Для надзора за потреблением и подсчетом потребляемой предприятиями электроэнергии применяются счетчики активной и реактивной мощности. Установка этого оборудования является обязательной для всех подстанций включая те, что установлены на территории завода [11].

Предварительно принимаю для установки вакуумный выключатель ВВ-М-10-20/630УЗ[10].

Соответствие номинального напряжения сети и прибора

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.НОМ}} = 10 \text{ кВ}$$

Номинальный рабочий ток

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{T}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{H}}}, \quad (68)$$

$$I_{\text{раб}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10} = 363,731 \text{ А},$$

$$I_{\text{раб}} = 363,731 \text{ А} \leq I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}.$$

Симметричный ток

$$I_{п,τ} = I_{кз2} = 3,138 \text{ кА},$$

$$I_{п,τ} = 3,138 \text{ кА} \leq I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}.$$

Апериодическая составляющая тока

$$\tau = t_{р.з.} + t_{с.в.} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с},$$

$$I_{а,τ} = \sqrt{2} \cdot I_{п,τ} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (69)$$

$$I_{а,τ} = \sqrt{2} \cdot 3,138 \cdot e^{-\frac{0,04}{0,03}} = 1,169 \text{ кА},$$

$$I_{а,ном} = \left( \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{нор}}{100} \right) \cdot I_{откл.ном}, \quad (70)$$

$$I_{а,ном} = \left( \frac{\sqrt{2} \cdot 40}{100} \right) \cdot 20 = 11,314 \text{ кА},$$

$$I_{а,τ} = 0,99 \text{ кА} \leq I_{а,ном} = 11,314 \text{ кА}.$$

Включающая способность

$$I_{п,0} = 3,138 \text{ кА} \leq I_{вкл.ном} = 20 \text{ кА},$$

$$i_{уд} = 7,988 \text{ кА} \leq i_{вкл.ном} = 51 \text{ кА}.$$

Электродинамическая стойкость

$$I_{п,0} = 3,138 \text{ кА} \leq I_{пр.с} = 20 \text{ кА},$$

$$i_{уд} = 7,988 \text{ кА} \leq i_{пр.с} = 51 \text{ кА}.$$

Термическая стойкость

$$t_{откл} = t_{рз} + t_{пв.откл} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с},$$

$$W_K = I_{п,0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (71)$$

$$B_K = (3,138 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,06 + 0,03) = 0,886 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c},$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \geq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_T,$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \leq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}},$$

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ c} \leq t_T = 3 \text{ c},$$

$$I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = (51 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 156,06 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c},$$

$$B_K = 0,886 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c} \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = 156,06 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c},$$

Принятый вакуумный выключатель проходит по всем необходимым параметрам..

Проверка трансформатора тока ТОЛК-10-5Р-400[22].

Номинальное напряжение

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$$

Номинальный рабочий ток

$$I_{\text{раб}} = 363,731 \text{ A} \leq I_{1\text{ном}} = 400 \text{ A}$$

Термическая стойкость

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ c}; B_K = 0,886 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c},$$

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ c} \leq t_T = 3 \text{ c},$$

$$I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = (25 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 37,5 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c},$$

$$B_K = 0,886 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c} \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = 96 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c}.$$

Вторичная нагрузка

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{S_2}{I_2^2}, \quad (72)$$

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{30}{5^2} = 1,2 \text{ Ом.}$$

Приборы присоединенные к ТОЛК-10-5Р-400 являются: амперметр и ваттметр ЦМ120РQ [7] мощностью 15 ВА; счетчик активной и реактивной энергии СЭТ-4ТМ [23] мощностью 10 ВА.

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\Sigma}}{I_2^2}, \quad (73)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{25}{5^2} = 1 \text{ Ом.}$$

Из-за того, что на вторичной цепи будет несколько устройств, сопротивление контактов будет  $R_K = 0,1 \text{ Ом}$

$$R_{\text{пр}} \leq Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_K = 1,2 - 1 - 0,1 = 0,1 \text{ Ом}$$

Расчетная длина проводов вторичной принимается  $l_p = 1$  для схемы соединения звезда. Для 10 кВ, длина вторичных цепей находится в диапазоне 4-6 м. Удельное сопротивление  $\rho = 0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ , выбирается для медных жил.

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}}, \quad (74)$$

$$s = \frac{0,0175 \cdot 6}{0,1} = 1,05 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение  $2,5 \text{ мм}^2$  так, как оно не может быть меньше.

Проверка трёхфазного трансформатора напряжения ОЛСП-1,25[21]

Номинальное напряжение

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$$

Измерительные приборы, подключенные к ОЛСП-1,25 [21] являются: два вольтметра и ваттметра ЩМ120PQ суммарной мощностью 30 ВА,  $\cos \varphi=1$ ,  $\sin \varphi=0$ ; шесть счетчиков активной и реактивной энергии СЭТ-4ТМ суммарной мощностью 60 ВА,  $\cos \varphi=0,38$ ,  $\sin \varphi=0,925$ .

$$S_{\text{ном}} = 1250 \text{ ВА},$$
$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi\right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi\right)^2}, \quad (75)$$
$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(30 + 60 \cdot 0,38)^2 + (60 \cdot 0,925)^2} = 76,6 \text{ ВА},$$
$$S_{\text{ном}} = 1250 \text{ ВА} \geq S_{2\Sigma} = 76,6 \text{ ВА}.$$

Выводы по разделу 7:

Произведен выбор и проверка оборудования на стороне 10 кВ главной понизительной подстанции, установлены, вакуумный выключатель ВВ-М-10-20/630УЗ, трансформатора тока ТОЛК-10-5Р-400, трёхфазный трансформатор напряжения ОЛСП-1,25.

## 8 Выбор высоковольтного кабеля

Высоковольтные кабели выполняют роль по передачи большого количества электроэнергии на различные расстояния. По этому расчет и выбор необходимо проводить максимально точно, чтобы избежать возможных проблем при возникновении аварийных случаях [3].

При выборе кабеля подходящего от источника электроэнергии на дальние расстояния применяются алюминиевые кабели со стальным сердечником. Это обусловлено экономическими затратами, и ограниченностью ресурсов на применение других, более эффективных материалов [26].

При передаче от подстанций до потребителей используются как медные, так и алюминиевые кабели различного сечения и исполнения в зависимости от внешних факторов [12].

Определяется сечение кабеля по экономической плотности тока.

Производится проверка сечения на термическую устойчивость.

Номинальный ток силового трансформатора  $I_{н.тр.}$ , А;

$$I_{н.тр.} = \frac{S_{н.тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \text{ А}, \quad (77)$$
$$I_{н.тр.} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 110} = 33,066 \text{ А}.$$

Сечение кабеля по экономической плотности тока  $S_э$ , мм<sup>2</sup>

$$S_э = \frac{I_{н.тр.}}{j_э} \text{ мм}^2, \quad (78)$$
$$S_э = \frac{33,066}{1,2} = 18,3 \text{ мм}^2.$$

Проверка сечения на термическую устойчивость  $S$ , мм<sup>2</sup>

$$S = \frac{I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{C} \text{ мм}^2, \quad (79)$$

$$S = \frac{5878 \cdot \sqrt{0,6}}{85} = 53,566 \text{ мм}^2.$$

К установке принимается кабель типа АС-63/10,5 с алюминиевой жилой и стальным сердечником. Для остальных подстанций кабеля выбран аналогичным способом и соответствуют : ТП1 кабель АШВ-3х70; ТП2 кабель АШВ-3х95; ТП3 кабель АШВ-3х35; ТП4 кабель АШВ-3х50; ТП5 кабель АШВ-3х35; ТП6 кабель АШВ-3х70 [5].

Выводы по разделу 8:

Произведен расчет, выбор и проверка силовых кабелей для главной понизительной и цеховых подстанций. Каждый кабель проходит по термической устойчивости.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе произведен:

- расчет электрических нагрузок завода;
- расчет и выбор соответствующих для цеха 6 два трансформатора ТСЗ-1250/0,4 с КРМ-0,4-500УЗ, для цеха 11 два трансформатора ТСЗ-1600/0,4 с КРМ-0,4-550УЗ, для цеха 18 один ТСЗ-630 с КРМ-0,4-150УЗ, для группы цехов 1,3,8,12,15,16 два трансформатора ТСЗ-1000-10/0,4 с КРМ-0,4-325УЗ, для группы цехов 2,4,5,7 два трансформатора ТСЗ-630-10/0,4 с КРМ-0,4-240УЗ, для группы цехов 9,10,13,14,17 два трансформатора ТСЗ-1000-10/0,4 с КРМ-0,4-450УЗ;
- полный расчет мощности электроприемников механического цеха, проведено распределение нагрузки на шинопровода типа «Басбар» различных номиналов и распределительные пункты, в качестве аппаратов защиты приняты автоматические выключатели типа «ВА» различных номиналов;
- расчет и выбор осветительной нагрузки с учетом размеров и рациональной расстановки светильников, выбраны следующие светильники ARCTIC SMS/SAN235 3×73 для благоприятной работы персонала, для защиты выбран автоматический выключатель ВА51-31-1, питание осветительного щитка выполнено с ячейки КТП кабелем ВВГ<sub>нг</sub> 5×25;
- расчет и выбор двух силовых трансформаторов типа ТМ-6300/110/10 для главной понизительной подстанции, которые удовлетворяют необходимые критерии для данного завода;
- расчет токов короткого замыкания в трех точках, данные которых необходимы для выбора аппаратов защиты и оборудования;
- выбор и проверка вакуумных выключателей ВВ-М-10-20/630УЗ, трансформаторов ТОЛК-10-5Р-400 с установленным амперметром и ваттметром ЩМ120РQ мощностью 15 ВА; счетчиком активной и реактивной энергии СЭТ-4ТМ мощностью 10 ВА., трансформаторов напряжения ОЛСП-

1,25 с установленными двумя вольтметрами и ваттметрами ЩМ120PQ суммарной мощностью 30 ВА,  $\cos \varphi=1$ ,  $\sin \varphi=0$ ; шестью счетчиками активной и реактивной энергии СЭТ-4ТМ суммарной мощностью 60 ВА,  $\cos \varphi=0,38$ ,  $\sin \varphi=0,925$  на стороне 10 кВ главной понизительной подстанции;

– расчет и проверка силовых кабелей для главной понизительной АС-63/10,5 и цеховых подстанций ТП1 кабель АШВ-3х70; ТП2 кабель АШВ-3х95; ТП3 кабель АШВ-3х35; ТП4 кабель АШВ-3х50; ТП5 кабель АШВ-3х35; ТП6 кабель АШВ-3х70. Применение алюминиевых кабелей обусловлено большим расстоянием между распределительными устройствами и дешевизной применяемого материала.

Проведение этих мероприятий необходимо для правильного проведения подключения и обеспечения бесперебойной работы любого предприятия.

## Список используемых источников

- 1 Акимова Н.А., Котелениц Н.Ф., Сентюрихин Н.И. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования, М., Мастерство, 2013г., 295 с.
- 2 Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976> (дата обращения 01.10.2021)
- 3 Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943> (дата обращения 03.10.2021)
- 4 Зюзин А.Ф., Поконов Е.З., Антонов М.В. Монтаж. Эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. М., «АКАДЕМИЯ», 2013г., 366с.
- 5 Каталог кабельных линий URL: <http://www.kmp63.ru/katalog-produktsii/shinoprovody-raspredelitelnye-shra-4.html> (дата обращения 13.07.2021)
- 6 Каталог выбора осветительных приборов URL: <http://ventusacqua.ru/catalog/osveshchenie/lampy-t5> (дата обращения 20.07.2021)
- 7 Каталог выбора электроприборов URL: <http://www.elektro-portal.com/uploads/series-catalog/0ee7cf0412c9497d1e98a19e5375e662d599f843.pdf> (дата обращения 01.08.2021)
- 8 Каталог продукции конденсаторных установок различной мощности URL: <http://ettalon.ru/catalog/katalog-produktsii> (дата обращения 08.08.2021)
- 9 Каталог кабеля ВВгнг URL: <https://topkabel.ru/kabel-vvgng.html> (дата обращения 13.08.2021)
- 10 Каталог вакуумных выключателей URL: <https://www.se.com/ru/ru/product-range-presentation/941-evolis/#tabs-top> (дата обращения 20.08.2021)

11 Конструкции комплектно распределительного устройства КРУ-РН-6/10-УХЛ5-ВВ URL: <http://oaoex.ru/products/general-industrial-use-equipment/kru-rn-6-10-uhl5-vv/> (дата обращения 23.09.2021)

12 Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов, М., Мастерство, 2011, 318 с.

13 Липкин Б.Ю., Электроснабжение промышленных предприятий и установок, М., «АКАДЕМИЯ», 2010, 362с.;

14 Мукасеев Ю.Л., Основы электроснабжения промышленных предприятий, М., «НЦ ЭНАС», 2012, 410 с.

15 Описание и характеристики сухого трехфазного трансформатора ТСЗ URL: <https://www.tdtransformator.ru/transformatory-silovye/transformatory-obschego-naznacheniya/tsz-transformatory-trehfaznye-suhie-etz/> (дата обращения 03.10.2021)

16 Правила устройства электроустановок, М., Издательство НЦ ЭНАС, 2006г., 549с.

17 Промышленное освещение и каталог светильников URL: <http://www.ltcompany.com/ru/products/arctic-san-smc/> (дата обращения 27.07.2021)

18 Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В., Электрооборудование электрических станций и подстанций, М., Академия, 2013 г., 446 с.

19 Сибикин Ю.Б Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий, М., Академия, 2014, 361 с.

20 Сибикин Ю.Д., Сибикин И.Ю., Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий установок, М., «АКАДЕМИЯ», 2014., 425 с.

21 Характеристики трехфазного трансформатора напряжения URL: <https://goo.su/83Zy> (дата обращения 27.09.2021)

22 Характеристики и руководство по трансформатору тока ТОЛ URL: [https://www.cztz.ru/tol\\_10.html](https://www.cztz.ru/tol_10.html) (дата обращения 29.09.2021)

23 Характеристики и назначение счетчиков СЭТ-4 URL: <http://electroschetchik.ru/set-4tm.php?yclid=3316545831389388250> (дата обращения 02.10.2021)

24 Цигельман И.Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий, М., «АКАДЕМИЯ», 2015, 319 с.

25 Шеховцов В.П. Расчёт проектирование схем электроснабжения, М., ФОРУМ-ИНТРА-М, 2015, 210 с.

26 Evans M. P., Tindemans S. H., Angeli D. A graphical measure of aggregate flexibility for energy-constrained distributed resources // IEEE Transactions on Smart Grid, 2019, Vol. 11, No. 1, pp. 106-117

27 Samper M.E., Vargas A., Eldali F., et al. Assessments of battery storage options for distribution expansion planning using an OpenDSS-based framework // 2017 IEEE Manchester PowerTech, United Kingdom, June 18-22, 2017, 6 p.

28 Jia H., Ding Y., Song Y., et al. Operating reliability evaluation of power systems considering flexible reserve provider in demand side // IEEE Transactions on Smart Grid, 2018, Vol.10, No. 3, pp. 3452-3464

29 Yao M., Mathieu J.L., Molzahn D.K. Using demand response to improve power system voltage stability margins // 2017 IEEE Manchester PowerTech, Great Britain, June 18-22, 2017, 6 p..

30 O'Connell A. Unbalanced distribution system voltage optimization // 2016 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), Slovenia, Ljubllijana, October 9-12,2016, pp. 1-6