

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 распределительной сети ремонтно-механического цеха химического предприятия

Обучающийся

А.А. Василенко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Л. Спиридонов

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

Тольятти 2023

## **Аннотация**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы по теме «Проектирование распределительной сети ремонтно-механического цеха химического предприятия» произведен детальный расчет внутрицеховых нагрузок с определением числа силовых трансформаторов, их мощности для ремонтно-механического цеха химического предприятия, расчет токов короткого замыкания, расчет осветительной нагрузки, выбор аппаратов защиты, расчет и выбор питающего кабеля с применением доступных современных решений.

Объект проектирования: силовая и распределительные сети ремонтно-механического цеха химического предприятия.

Произведенный расчет был необходим для обеспечения безопасности при выполнении работ, экономичности и комфортной обстановки работников, в том числе надежности в работе электрооборудования.

Объем пояснительной записки выпускной квалификационной работы - 54 листа, 4 таблицы, 3 рисунка, 6 чертежей.

## Содержание

Введение.....	4
1 Описание объекта проектирования .....	6
2 Требования к техническим решениям при проектировании системы электроснабжения ремонтно-механического цеха .....	8
3 Обоснование выбора схемы распределительной сети, класса напряжения	10
4 Расчет и проектирование системы электроснабжения ремонтно-механического цеха.....	11
4.1 Расчет электрических нагрузок .....	11
4.2 Расчет силовой нагрузки .....	21
4.3 Расчет системы освещения.....	24
5 Разработка мероприятий по компенсации реактивной мощности .....	30
6 Выбор количества и установленной мощности трансформаторов комплектной трансформаторной подстанции .....	32
7 Расчеты токов короткого замыкания .....	35
8 Расчет и выбор аппаратуры защиты, проводников .....	41
Выбор высоковольтного кабеля, высоковольтного оборудования.....	46
Заключение .....	50
Список используемых источников и используемой литературы.....	52

## Введение

Тема данной выпускной квалификационной работы «Проектирование распределительной сети ремонтно-механического цеха химического предприятия».

Актуальность темы обусловлена требованиями надежности электроснабжения, обеспечения показателей качества электроэнергии и ее эффективного использования [23].

Цель выпускной квалификационной работы – разработать проект системы распределительной сети ремонтно-механического цеха химического предприятия с применением передовых научно-технических разработок, которые должны обеспечить надежность электроснабжения электроприемников цеха 2-3 категории надежности.

Цель проекта:

- обосновать выбор схемы распределительной сети, класса напряжения;
- выполнить расчет электрических нагрузок;
- разработать мероприятия по компенсации реактивной мощности;
- выбрать количество и установленной мощности трансформаторов комплектной трансформаторной подстанции;
- выполнить расчет токов короткого замыкания;
- выполнить расчет и подобрать аппараты защиты, проводников;
- выбрать высоковольтный кабель, высоковольтное оборудование;

Объект проектирования: силовая распределительная сеть ремонтно-механического цеха.

Предмет проектирования: конструктивные элементы (шинопроводы, кабели, аппаратура защиты) распределительной сети, цеховая подстанция.

При этом надо решить следующие задачи:

- расчет электрических нагрузок;
- определить схему электроснабжения;
- определить необходимые аппараты защиты и питающих кабелей;

- технико-экономическое обоснование величины напряжения и схемы внутреннего электроснабжения цеха.

Исходными данными для разработки выпускной квалификационной работы являются:

- генеральный план химического предприятия;
- план размещения электромеханического оборудования ремонтно-механического цеха;
- установленные мощности электроприемников;
- размеры цеха, характеристика помещения.

## 1 Описание объекта проектирования

В системе технического обслуживания производства на предприятиях промышленности, в том числе химической отрасли, ведущую роль играет ремонтная база. Обеспечение производства всеми видами инструмента и исправного оборудования осуществляет ремонтно-механическое хозяйство предприятия.

Ремонтная служба химического предприятия предназначена для выполнения работ по техническому обслуживанию, ремонту технологического оборудования, для организации наиболее оптимального его применения и модернизации в период эксплуатации. Ремонтно-механический цех (РМЦ) является вспомогательным производством завода. Ремонтные работы производятся силами ремонтно-механического цеха. В РМЦ химического предприятия изготавливают нестандартное малогабаритное оборудование, нестандартные сложные сменные детали и запасные части, которые необходимы для непрерывного химического производства [23].

РМЦ имеет производственные, вспомогательные, служебные и бытовые помещения. Электроснабжение цеха осуществляется от собственной цеховой трансформаторной подстанции (ТП). Здание расположено на расстоянии 1,5 км от заводской главной понизительной подстанции (ГПП). Расстояние ГПП от энергосистемы - 80 км. Потребители электроэнергии - 2 и 3 категории надежности электросистемы снабжения (ЭСН). Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 6 м каждый. Размеры цеха А\*В\*Н=48\*72\*8 м. Мощность электропотребления (Рэп) указана для одного электроприемника.

«Во внутренней электрической сети цеха широко применяется напряжение 380/220 В, основным преимуществом которого является возможность совместного питания силовых и осветительных электроприемников. От сети 380В будет запитана силовая нагрузка, а от сети 220В будет запитана осветительная нагрузка» [16]. В таблице 1 указано технологическое оборудование химического предприятия.

Таблица 1 – Данные технологического оборудования

№ позиции	Наименование электроприемников	Единичная мощность, кВт	Количество
1	Переключатели	4	4
2	Сборочный полуавтомат	26	1
3	Торцовочный станок	12	7
4	Станок токарный	15,8	6
5	Фрезерный станок	12,8	3
6	Сверлильный станок	7,5	6
7	Автомат токарный одношпиндельный	11,2	3
8	Станок заточной	3,5	5
9	Станок токарный специальный	15,8	10
10	Полуавтомат токарный	15	2
11	Станок шпоночно-фрезерный	11	4
12	Резьбонарезной станок	7,2	3
13	Болтонарезной станок	11,2	3
14	Поперечнострогальный станок	16,2	12
15	Алмазнорабочий станок	19	7
16	Машина клепальная	16,5	9
17	Заточной станок для фрезерных головок	7,2	6
18	Штамп пробивной фасонный	4,2	6
19	Автомат резьбонакатный	13,5	3
20	Пресс кривошипный	30	4
21	Автомат трехпозиционный высадочный	18	7
22	Печь сушильная конвейерная	45	1
23	Автомат гайковысадочный	10	2
24	Автомат болтовысадочный	18,5	7
25	Ванна гальваническая	15	3
26	Стенд кантователь	10	1
Всего			125

## **2 Требования к техническим решениям при проектировании системы электроснабжения ремонтно-механического цеха**

Здание ремонтно-механического цеха относится к помещению с повышенной опасностью так как по условиям производства в воздух выделяется большое количество технологической пыли, с риском налипания на проводах, и проникать внутрь оборудования, технологических аппаратов и так далее. Пыль подразделяется на проводящую и не проводящую [3].

«Трёхфазный переменный ток применяется для силовых электрических сетей промышленных предприятий, а постоянный ток рекомендуется использовать в тех случаях, когда он необходим по условиям технологического процесса (зарядка аккумуляторных батарей, питание гальванических ванн и магнитных столов), а также для плавного регулирования частоты вращения электродвигателей. Если необходимость применения постоянного тока не вызвана технико-экономическими расчётами, то для питания силового оборудования используется трёхфазный переменный ток» [24].

«При выборе рода тока требуется учитывать следующие моменты:

- с увеличением расстояния идет рост электрического сопротивления проводов, растут потери на их нагрев. Сообразно, чтобы уменьшить потери, уменьшаем сопротивление проводников или увеличиваем передаваемое напряжение. С этой задачей может справиться электроток» [5].

«При выборе напряжения необходимо иметь ввиду мощность, расположение и количество электроприемников, возможность их совместного питания, а также технические особенности производства. Выбор напряжений организовывается на сравнении технико-экономических показателей в тех случаях:

- есть необходимость при проектировании электроснабжения предприятия расширить существующие подстанции или увеличить мощность электростанций на предприятии;



- от источника питания может быть получена энергия при двух напряжениях или более;

- сети электростанций предприятий связывать к электросетям энергосистем.

При проектировании необходимо выбрать вариант с более высоким напряжением даже при небольших экономических преимуществах (не превышающих 10 - 23%) наименьшего из предполагаемых напряжений» [5].

Следует учесть следующие моменты при выборе напряжения, которое будет подаваться для питания электроприемников:

- напряжение свыше 1 кВ должно использоваться на нижнем уровне распределения только для специального электрооборудования, работающего при напряжении выше 1 кВ;

- рассмотреть напряжение 380, 660В, как варианты, если напряжения выше 1 кВ технически не требуется. Использование более низких напряжений для потребителей электроэнергии экономически не целесообразно [5].

### **3 Обоснование выбора схемы распределительной сети, класса напряжения**

В ремонтно-механическом помещении предприятия преобладают маломощные электроприемники, поэтому прием к использованию напряжение классом 380/220В, переменного тока частотой 50 Гц, как наиболее разумным [14].

Выбор рациональной схемы электроснабжения является одной из основных задач при проектировании распределительной сети РМЦ наряду с выбором напряжения.

Схема электроснабжения при проектировании должна включать в себя элементы существующей схемы. Ее мощность зависит от новых условий проектирования. Это также распространяется к подстанциям, высоковольтным распределительным устройствам, кабельным линиям, токопроводам и иных элементов [26].

Распределительные сети должны быть спроектированы так, чтобы они были простыми, удобными в эксплуатации, ремонтпригодными и монтировались промышленным способом с использованием комплектного оборудования. Схема распределения основывается на принципах приближения высокого напряжения к потребителю, исключения холодного резерва, раздельной работы трансформаторов, линий, а так же глубокого секционирования. После анализа существующей схемы внешнего электроснабжения, с целью обеспечения требуемой степени бесперебойного питания проектом закладывают новые линии, трансформаторы [27].

«Схемы электрических сетей бывают радиальными, магистральными и смешанными» [21, с. 56].

При проектировании схемы электроснабжения распределительной сети РМЦ принята смешанная система. Она выполнена радиальными и магистральными участками, что является рациональным и экономичным способом обеспечения высокой надежности электроснабжения.

## 4 Расчет и проектирование системы электроснабжения ремонтно-механического цеха

### 4.1 Расчет электрических нагрузок

В первую очередь при разработке данного проекта необходимо рассчитать электрические нагрузки.

Режим работы предприятия, род тока, мощность и категория надежности потребителей электроэнергии необходимо учитывать при расчете электрических нагрузок проектируемого объекта [1].

«Потребители разных подразделений промышленного предприятия также имеют максимальную нагрузку, не совпадающую во времени. Таким образом, максимумы нагрузки отдельных потребителей, питающихся от одного элемента сети, не наступают одновременно и время их наступления не совпадает с временем наступления максимума их суммарной нагрузки этого элемента» [14].

«Поэтому определение максимальной суммарной нагрузки производится с использованием так называемого коэффициента одновременности максимумов нагрузки» [14].

В таблице 2 представлен перечень оборудования распределительного шинпровода ШРА 1.

Таблица 2 - Перечень оборудования распределительного шинпровода ШРА 1

Позиция оборудования	Наименование электроприемников	Количество электроприемников	Единичная мощность электроприемника	Коэффициент использования	Коэффициент мощности	Тангенс потерь
		n, шт.	P, кВт	$K_n$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
1	2	3	4	5	6	7
3	Торцовочный станок	7	12	0,17	0,65	1,17

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
	РП-2	-	-	-	-	-
4	Станок токарный	6	15,8	0,17	0,65	1,17
	РП-3	-	-	-	-	-
7	Автомат токарный одношпиндельный	3	11,2	0,17	0,65	1,17
8	Станок заточной	5	3,5	0,17	0,65	1,17
26	Стенд кантователь	1	10	0,24	0,65	1,17
	РП-4	-	-	-	-	-
5	Фрезерный станок	3	12,8	0,17	0,65	1,17
6	Сверлильный станок	6	7,5	0,17	0,65	1,17
	ШРА-1	-	-	-	-	-

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

$$P_{\text{НОМ.}n} = n \cdot P_{\text{НОМ.}i} \quad (1)$$

$$P_{\text{НОМ.}3} = 7 \cdot 12 = 84 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{НОМ.}4} = 6 \cdot 15,8 = 95 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{НОМ.}5} = 3 \cdot 12,8 = 38,4 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{НОМ.}6} = 6 \cdot 7,5 = 45 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{НОМ.}7} = 3 \cdot 11,2 = 33,6 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{НОМ.}8} = 5 \cdot 3,5 = 17,5 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{НОМ.}26} = 1 \cdot 10 = 10 \text{ кВт}.$$

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

$$P_{\text{СМ.}n} = P_{\text{НОМ.}1} \cdot K_{\text{И}}, \quad (2)$$

$$P_{\text{СМ.}3} = 84 \cdot 0,17 = 14,28 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{СМ.}4} = 95 \cdot 0,17 = 16 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{см.5}} = 38,4 \cdot 0,17 = 6,5 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{см.6}} = 45 \cdot 0,17 = 8 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{см.7}} = 33,6 \cdot 0,17 = 6 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{см.8}} = 17,5 \cdot 0,17 = 3 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{см.26}} = 10 \cdot 0,24 = 2,4 \text{ кВт}.$$

Среднесменная реактивная мощность каждой группы  $Q_{\text{см.п}}$ , кВАр

Количество электроприемников ШРА1  $n$ , шт.

Среднесменная реактивная мощность каждой группы  $Q_{\text{см.п}}$ , кВАр

$$Q_{\text{см.п}} = P_{\text{см.п}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (3)$$

$$Q_{\text{см.3}} = 14,28 \cdot 1,169 = 17 \text{ кВАр},$$

$$Q_{\text{см.4}} = 16 \cdot 1,169 = 19 \text{ кВАр},$$

$$Q_{\text{см.5}} = 6,5 \cdot 1,169 = 8 \text{ кВАр},$$

$$Q_{\text{см.6}} = 8 \cdot 1,169 = 9,3 \text{ кВАр},$$

$$Q_{\text{см.7}} = 6 \cdot 1,169 = 7 \text{ кВАр},$$

$$Q_{\text{см.8}} = 3 \cdot 1,169 = 3,5 \text{ кВАр},$$

$$Q_{\text{см.26}} = 2,4 \cdot 1,169 = 3 \text{ кВАр}.$$

Количество электроприемников ШРА1  $n$ , шт.

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

$$n = 7 + 6 + 3 + 5 + 3 + 6 + 1 = 31 \text{ шт.}$$

Суммарная номинальная мощность групп электроприемников

$P_{\text{ном.шра1}}$ , кВт

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

$$P_{\text{ном.шра1}} = \sum_1^4 84 + 95 + 33,6 + 17,5 + 10 + 38,4 + 45 = 323,5 \text{ кВт.}$$

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

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

$$P_{\text{см.шра1}} = 14,28 + 16 + 6 + 3 + 2,4 + 6,5 + 8 = 56,18 \text{ кВт.}$$

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

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

$$Q_{\text{см.шра1}} = \sum_1^4 17 + 19 + 7 + 3,5 + 3 + 8 + 9,3 = 66,8 \text{ кВАр.}$$

Модуль силовой сборки  $m$

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

где  $P_{\text{ном.макс.1}}$  - наибольший по мощности электроприемник, кВт;

$P_{\text{ном.мин.1}}$  - наименьший по мощности электроприемник, кВт.

$$m = \frac{15,8}{3,5} = 4,5 > 3$$

Коэффициент использования  $K_{\text{и.шра1}}$

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

$$K_{и.шра1} = \frac{56,18}{323,5} = 0,17 < 0,2$$

Тангенс потерь  $tg\varphi_{шра1}$

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

$$tg\varphi_{шра1} = \frac{66,8}{56,18} = 1,17.$$

«Коэффициент мощности  $\cos\varphi_{шра1}$ , соответствующий тангенсу потерь  $tg\varphi_{шра1}$ » [22]

$$\cos\varphi_{шра1} = 0,65$$

Эффективное число электроприемников  $n_{*э}$ ; при  $n > 5$ ,  $K_{н} < 0,2$ ,  $m > 3$

$$n_{*э} = n_{*э} \cdot n, \quad (11)$$

$$n_{*э} = f(n^*; P^*)$$

$$P^* = \frac{P'}{P_{ном.n}}, \quad (12)$$

где  $n_{*э}$  – относительное эффективное число электроприемников;

$n = 31$  – число электроприемников ШРА1, шт.;

$n^*$  – относительное число наибольших по мощности электроприемников;

$n'$  – число электроприемников с единичной мощностью больше или равной  $0,5 \cdot P_{\text{ном.макс1}}$ ;

$P'$  – мощность электроприемников  $n'$ .

$$0,5 \cdot P_{\text{ном.макс1}} = 0,5 \cdot 15,8 = 7,9$$

$$n' = 20$$

$$n^* = \frac{20}{31} = 0,64$$

$$P' = 95 + 84 + 33,6 + 10 + 38,4 = 261 \text{ кВт.}$$

$$P^* = \frac{261}{323} = 0,8.$$

при  $n^* = 0,64$ ,  $P^* = 0,8 \rightarrow n_{\text{э}^*} = 0,86$ ,

$$n_{\text{э}} = 0,86 \cdot 31 = 26,6 \approx 27$$

Коэффициент максимума  $K_{\text{макс.шра1}}$

$$K_{\text{макс.шра1}} = 1,55,$$

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

$$P_{\text{макс.шра1}} = P_{\text{см.шра1}} \cdot K_{\text{макс.шра1}} \quad (13)$$

$$P_{\text{макс.шра1}} = 56,18 \cdot 1,55 = 87,1 \text{ кВт.}$$

Максимальная реактивная мощность  $Q_{\text{макс.пр1}}$ , кВар

$$n > 10,$$

$$Q_{\text{макс.}} = Q_{\text{см.шра1}} = 66,8 \text{ кВар.}$$

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



$$S_{\text{макс.шра1}} = \sqrt{P_{\text{макс.шра1}}^2 + Q_{\text{макс.шра1}}^2}, \quad (14)$$

$$S_{\text{макс.шра1}} = \sqrt{87,1^2 + 66,8^2} = 110 \text{ кВА.}$$

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

$$I_{\text{макс.шра1}} = \frac{S_{\text{макс.шра1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (15)$$

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

$$I_{\text{макс.шра1}} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 380} = 167,4 \text{ А.}$$

Результаты, полученные при расчете шинопроводов ШРА2, ШРА3, ШРА4, ШРА5, ШРА6, ШРА7, ШРА8, пунктов распределительных ПР1, ПР2, ПР3, ПР4, ПР5, РП6, РП7, РП8 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сводная таблица электрических нагрузок

№ позиции	Наименование электроприемников	Количество электроприемников $n_{об}$	Установленная мощность электроприемников		Модуль сборки, $m$	Коэффициент использования $K_{и}$	$\cos\varphi/tg\varphi$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемник	Коэффициент максимума, $K_m$	Максимальная мощность			Максимальный ток
			одного $P_{ном. 1},$ кВт	группы $P_{общ.},$ кВт				активная мощность $P_{б},$ кВт	реактивная мощность $Q_{см},$ кВА			активная $P_{max},$ кВт	реактивная $Q_{max},$ кВА	полная $S_{max},$ кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3	Торцовочный станок	7	12	84		0,17	0,65/1,17	14,28	17	-	-	-	-	-	-
	РП-2	7>5	12	84	1<3	0,17<0,2	0,65/1,17	14,28	17	7	2,48	35,4	18,7	40	61
4	Станок токарный	6	15,8	95	-	0,17	0,65/1,17	16	19	-	-	-	-	-	-
	РП-3	6>5	15,8	95	1<3	0,17<0,2	0,65/1,17	16	19	6	2,64	43	21	48	72,6
7	Автомат токарный одношпиндельный	3	11,2	33,6	-	0,17	0,65/1,17	6	7	-	-	-	-	-	-
8	Станок заточной	5	3,5	17,5	-	0,17	0,65/1,17	3	3,5	-	-	-	-	-	-
26	Стенд контователь	1	10	10	-	0,24	0,65/1,17	2,4	3	-	-	-	-	-	-
	РП-4	9>5	3,5/11,2	61	3,2>3	0,18<0,2	0,65/1,17	11,4	13,5	7	2,1	24	14,85	28	42,4
5	Фрезерный станок	3	12,8	38,4	-	0,17	0,65/1,17	6,5	8	-	-	-	-	-	-
6	Сверлильный станок	6	7,5	45	-	0,17	0,65/1,17	8	9,3	-	-	-	-	-	-
	ШРА-1	31>5	3,5/15,8	323,5	4,5>3	0,17<0,2	0,65/1,17	56,18	66,8	27	1,55	87,1	66,8	110	167,4
1	Переключики	4	4	16	-	0,17	0,65/1,17	2,7	3,2	-	-	-	-	-	-
2	Сборочный полуавтомат	1	26	26	-	0,35	0,5/1,73	9	16	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	РП-1	5=5	4/26	42	6,5	0,28>0,	0,53/1,58	12,2	19	3	2,14	25,7	21	33,2	50,5
9	Станок токарный	10	15,8	158	-	0,17	0,65/1,17	27	32	-	-	-	-	-	-
	ШРА-2	15>5	4/26	200	6,5	0,2=0,2	0,6/1,3	39	51,2	15	1,61	63	51,2	81	123,5
16	Машина клепальная	9	16,5	148,5	-	0,24	0,6/1,33	35,64	47,5	-	-	-	-	-	-
	РП-5	9>5	16,5	148,5	1<3	0,24>0,	0,6/1,33	35,64	47,5	9	1,9	67,7	52,25	85,5	130
10	Полуавтомат токарный	2	15	30	-	0,17	0,65/1,17	5,1	6	-	-	-	-	-	-
11	Станок шпоночно-фрезерный	4	11	44	-	0,14	0,5/1,73	6,16	10,6	-	-	-	-	-	-
12	Резьбонарезной станок	3	7,2	21,6	-	0,14	0,5/1,73	3	5,2	-	-	-	-	-	-
	РП-6	9>5	7,2/15	95,6	2<3	0,14<0,	0,55/1,53	14,2	22	9	2,2	31,3	24	39,4	60
13	Болтонарезной станок	3	11,2	33,6	-	0,14	0,5/1,73	4,7	8	-	-	-	-	-	-
	РП-7	3<5	11,2	33,6	1<3	0,14<0,	0,5/1,73	4,7	8	3	3,11	14,6	8,8	17	26
17	Заточной станок для фрезерных головок	6	7,2	43,2	-	0,14	0,5/1,73	6	10,4	-	-	-	-	-	-
18	Штамп пробивной фасонный	6	4,2	25	-	0,17	0,65/1,17	4,3	5	-	-	-	-	-	-
	ШРА-3	33>5	4,2/16,5	346	3,9	0,18<0,	0,57/1,43	65	93	27	1,4	91	93	130	198
19	Автомат	3	13,5	40,5	-	0,17	0,65/1,17	6,9	8	-	-	-	-	-	-
22	Печь сушильная	1	45	45	-	0,75	0,95/0,33	33,75	11	-	-	-	-	-	-
25	Ванна гальваническая	3	15	45	-	0,55	0,75/0,881	24,75	21,8	-	-	-	-	-	--
	РП-8	7>5	13,5/45	130,5	3,3	0,5>0,2	0,85/0,63	65,4	41	6	1,51	98,8	45	117	162,5
14	Поперечнострогальный станок	12	16,2	194,4	-	0,17	0,65/1,17	33	38,6	-	-	-	-	-	-
	ШРА-4	19>5	13,5/45	325	3,3	0,3>0,2	0,78/0,8	98,4	79,4	14	1,34	132	79,4	154	234
15	Алмазностачной станок	7	19	133	-	0,2	0,65/1,17	26,6	31	-	-	-	-	-	-
	ШРА-5	7>5	19	133	1<3	0,2=0,2	0,65/1,17	26,6	31	7	2,1	56	34	65,5	99,5

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20	Пресс кривошипный	4	30	120	-	0,17	0,65/1,17	20,4	23,8	-	-	-	-	-	-
23	Автомат гайковысадочный	2	10	20	-	0,17	0,65/1,17	3,4	4	-	-	-	-	-	-
	ШРА-6	6>5	10/30	140	3=3	0,17<0,	0,65/1,17	23,8	27,8	5	2,87	68,3	30,6	75	114
21	Автомат трехпозиционный высадочный	7	18	126	-	0,2	0,65/1,17	25,2	29,4	-	-	-	-	-	-
	ШРА-7	7>5	18	126	1<3	0,2=0,2	0,65/1,17	25,2	29,4	7	2,1	53	32,34	62	94,3
24	Автомат болтовысадочный	7	18,5	130	-	0,2	0,65/1,17	26	30,2	-	-	-	-	-	-
	ШРА-8	7>5	18,5	130	1<3	0,2=0,2	0,65/1,17	26	30,2	7	2,1	54,6	33,44	64	97,3
	ШМА	125>5	3,5/45	1723,5	12,8	0,2=0,2	0,66/1,13	360,18	409	77	1,19	428,6	409	592,4	900
	Освещение	176	0,1	17,6	-	-	0,95/0,33	20	6,6	-	-	20	6,6	21	44,7
	По цеху с освещением	125	-	1750,5	12,8 >3	-	0,68/1,08	380,18	415,6	-	-	448	415,6	611	929
	Компенсация	-	-	-	-	--	-	-	-225	-	-	-	-	-	-
	По цеху после компенсации	125	-	1741,1	12,8 >3	-	0,95/0,34	380,18	190,6	77		448,6	190,6	487,4	741

## 4.2 Расчет силовой нагрузки

Расчёт магистрального шинпровода ШМА1

Количество электроприемников ШМА1 n, шт.

$$n = \sum_1^n n, \quad (16)$$

$$n = 31 + 15 + 33 + 19 + 7 + 7 + 6 + 7 = 125 \text{ шт.}$$

Установленная мощность групп электроприемников  $P_{\text{НОМ.ШМА1}}$ , кВт

$$P_{\text{НОМ.ШМА1}} = \sum_1^n P_{\text{НОМ.}}, \quad (17)$$

$$P_{\text{НОМ.ШМА1}} = 323,5 + 200 + 346 + 325 + 133 + 140 + 126 + 130 = 1723,5 \text{ кВт.}$$

Суммарная среднесменная активная мощность  $P_{\text{СМ.ШМА1}}$ , кВт

$$P_{\text{СМ.ШМА1}} = \sum_1^n P_{\text{СМ.}}, \quad (18)$$

$$P_{\text{СМ.ШМА1}} = 56,18 + 39 + 65 + 98,4 + 26,6 + 23,8 + 25,2 + 26 = 360,18 \text{ кВт.}$$

Среднесменная реактивная мощность  $Q_{\text{СМ.ШМА1}}$ , кВАр

$$Q_{\text{СМ.ШМА1}} = \sum_1^n Q_{\text{СМ.}}, \quad (19)$$

$$Q_{\text{СМ.ШМА1}} = 66,8 + 51,2 + 93 + 79,4 + 31 + 27,8 + 29,4 + 30,2 = 409 \text{ кВАр.}$$

Модуль силовой сборки  $m$ ,

$$m = \frac{P_{\text{НОМ.МАКС.1}}}{P_{\text{НОМ.МИН.1}}}, \quad (20)$$

где  $P_{\text{НОМ.МАКС.1}}$  - наибольший по мощности электроприемник, кВт;

$P_{\text{НОМ.МИН.1}}$  - наименьший по мощности электроприемник, кВт

$$m = \frac{45}{3,5} = 12,8 > 3$$

Коэффициент использования  $K_{\text{и.шма1}}$ , смотри формулу (9)

$$K_{\text{и.шма1}} = \frac{360,18}{1723,5} = 0,2.$$

Средневзвешенный тангенс потерь  $\text{tg}\varphi_{\text{шма1}}$ , смотри формулу (10)

$$\text{tg}\varphi_{\text{шма1}} = \frac{409}{360,18} = 1,13.$$

Коэффициент мощности  $\cos\varphi_{\text{шма1}}$  соответствующий тангенсу потерь  $\text{tg}\varphi_{\text{шма1}}$

$$\cos\varphi_{\text{шма1}} = 0,66.$$

Эффективное число электроприемников  $n_3$ , шт.

$$n_3 = \frac{2 \sum P_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НОМ}}}, \quad (21)$$

$$n_э = \frac{2 \cdot 1723,5}{45} = 76,6 \approx 77 \text{ шт.}$$

Коэффициент максимума  $K_{\text{макс.шма1}} = f(K_u; n_э)$

$$K_{\text{макс.шма1}} = 1,19.$$

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

$$\begin{aligned} P_{\text{макс.шма1}} &= P_{\text{см.шма1}} \cdot K_{\text{макс.шма1}}, \\ P_{\text{макс.шма1}} &= 360,18 \cdot 1,19 = 428,6 \text{ кВт.} \end{aligned} \quad (22)$$

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

$$\begin{aligned} n &> 10 \\ Q_{\text{макс.шма1}} &= 409 \text{ кВАр.} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} S_{\text{макс.шма1}} &= \sqrt{P_{\text{макс.шма1}}^2 + Q_{\text{макс.шма1}}^2}, \\ S_{\text{макс.шма1}} &= \sqrt{428,6^2 + 409^2} = 592,4 \text{ кВА.} \end{aligned} \quad (23)$$

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

$$I_{\text{макс.шма1}} = \frac{S_{\text{макс.шма1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (24)$$

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

$$I_{\text{макс.шма1}} = \frac{592,4}{\sqrt{3} \cdot 380} = 900 \text{ А.}$$

Результаты занесены в таблицу 3.

Выбран шинопровод магистральный E-Line KBC-II1050-B-STD 1000 А [7].

### 4.3 Расчет системы освещения

Проведение расчета системы освещения необходимо для обеспечения максимального зрительного комфорта всего рабочего персонала на промышленном предприятии выполняющих работу в любом помещении.

«Освещение выполняет полезную обще физиологическую функцию, способствующую появлению благоприятного психического состояния людей. С улучшением освещения повышается работоспособность, качество работы, снижается утомляемость, вероятность ошибочных действий, травматизма, аварийности. Недостаточное освещение ведет к перенапряжению глаз, к общему утомлению человека. В результате снижается внимание, ухудшается координация движений, что может привести при конкретной физической работе к несчастному случаю. Кроме того, работа при низкой освещенности способствует развитию близорукости и других заболеваний, а также расстройству нервной системы. Повышенная освещенность тоже неблагоприятно влияет на общее самочувствие и зрение, вызывая, прежде всего, слепящий эффект» [4].

Для выбора системы искусственного освещения, типа источника света и расположением светильников выполним светотехнический расчет, а также определим мощности осветительных приборов.

Исходные параметры:

- напряжение питающей сети 380/220 В;
- нормируемая освещенность 400 лк;



- коэффициент запаса  $K_3=1,5$ ;
- коэффициент минимальной освещенности  $Z$ ;
- размеры цеха:  $A \times B \times H = 48 \times 72 \times 8$  м;
- размещение оборудования – симметричное равномерное.

Высота подвеса над освещаемой поверхностью  $H_p$ , м

$$H_p = H - (h_p + h_c), \quad (25)$$

где  $h_c = (0 \div 2,5)$  м - высота подвеса светильника, м;

$h_p = 0,8$  - высота рабочей поверхности, м

$$H_p = 8 - (0,8 + 1,2) = 6 \text{ м.}$$

Расстояние между рядами светильников  $L$ , м

$$L = H_p \cdot \lambda, \quad (26)$$

где « $\lambda = 0,8$  – коэффициент, учитывающий рациональное соотношение высоты подвеса светильника над рабочей поверхности и расстояния между рядами» [14].

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

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

$$l_B = 0,5 \cdot L, \quad (27)$$

$$l_B = 0,5 \cdot 4,5 = 2,25 \text{ м}$$

$$l_A = 4,5 \cdot 0,3 = 1,35 \rightarrow 1,5 \text{ м}$$

Число рядов светильников по ширине  $N_B$ , шт.

$$N_B = \frac{B-2l}{L} + 1, \quad (28)$$

$$N_B = \frac{72 - (2 \cdot 2,25)}{4,5} + 1 = 16 \text{ шт.}$$

Число рядов светильников по длине  $N_A$ , шт.

$$N_A = \frac{A-2l}{L} + 1, \quad (29)$$

$$N_A = \frac{48 - (2 \cdot 1,5)}{4,5} + 1 = 11 \text{ шт.}$$

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

$$N_{\text{общ.}} = N_A \cdot N_B, \quad (30)$$

$$N_{\text{общ.}} = 11 \cdot 16 = 166 \text{ шт.}$$

Расчётное значение светового потока  $\Phi_p$ , лм

$$\Phi_p = \frac{A \cdot B \cdot E \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{общ}} \cdot \eta}, \quad (31)$$

где  $E$  - нормируемая освещенность,  $E = 400$  лк;

$K_3 = 1,5$  - коэффициент запаса;

$Z = 1,1$  – коэффициент минимальной освещенности;

$\eta = 0,8$  - КПД светильника.

$$\Phi_p = \frac{72 \cdot 48 \cdot 400 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 11 \cdot 0,98} = 13825,6 \text{ лм.}$$

Выбран светильник ПромЛед ПРОФИ v3.0-100 Мультилинза Экстра [6].  
 Мощность по 100 Вт со световым потоком 18400 лм.

$$\eta = 0,98 \cdot \cos\varphi > 0,98.$$

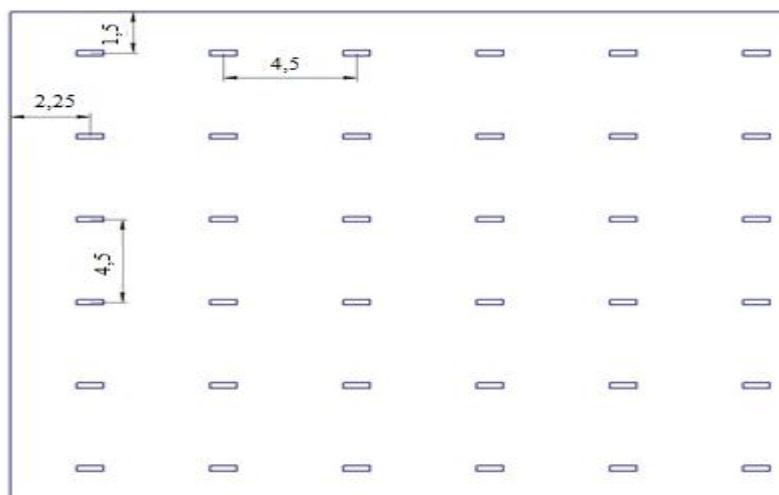


Рисунок 1 - План расположения светильников по цеху

Исходные данные для электрического расчета осветительной нагрузки:

- $P_n = 100$  – мощность лампы, Вт;
- $N = 176$  – количество ламп, шт.;
- $K_c = 0,9-0,95$  – коэффициент использования осветительной нагрузки;
- $K_{пра} = 1,2$  - коэффициент пускорегулирующей аппаратуры;
- $K_{пуск} = 1,4$  – коэффициент пуска осветительной установки;
- $\cos\varphi = 0,95 \rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 0,33$  – коэффициент мощности светильника,

соответствующий ему тангенс потерь.

Активная мощность осветительной нагрузки  $P_{осв}$ , кВт

$$P_{осв} = P_n \cdot N \cdot K_c \cdot K_{пра}, \quad (32)$$

$$P_{осв} = 100 \cdot 10^{-3} \cdot 176 \cdot 0,95 \cdot 1,2 = 20 \text{ кВт.}$$

Реактивная мощность осветительной нагрузки  $Q_{\text{осв}}$ , кВАр

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (33)$$

где  $\text{tg}\varphi = 0,33$  с учетом компенсации.

$$Q_{\text{осв}} = 20 \cdot 0,33 = 6,6 \text{ кВАр.}$$

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

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2}, \quad (34)$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{20^2 + 6,6^2} = 21 \text{ кВА.}$$

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

$$I_{\text{осв}} = \frac{S_{\text{осв}} \cdot K_{\text{пуск}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (35)$$

$$I_{\text{осв}} = \frac{21000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 380} = 44,7 \text{ А.}$$

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

$$I_{\text{т.р.}} = 1,15 \cdot I_{\text{осв}}, \quad (36)$$

$$I_{\text{т.р.}} = 1,15 \cdot 44,7 = 51,4 \text{ А.}$$

Выбран автоматический выключатель «ВА47-60» [7]. технические параметры  $I_{\text{ном}} = 63 \text{ А}$ ,  $I_{\text{т.р.}} = 63 \text{ А}$ .

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

$$S = 16 \text{ мм}^2 \text{ с } I_{\text{доп.}} = 75 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 63 \text{ А.}$$

Подключение осветительного щитка к ячейке КТП трансформатора выполнено кабелем ВВГ<sub>нг(А)LS</sub> 5×16 с  $I_{\text{доп.}} = 95\text{A} > I_{\text{ном}} = 63\text{A}$  [11].

Выбор автоматического выключателя для одного ряда светильников

Активная мощность осветительной нагрузки  $P_{\text{осв}}$ , кВт по формуле (32)

$$P_{\text{осв}} = 100 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot 0,95 \cdot 1,2 = 1,8 \text{ кВт.}$$

Реактивная мощность осветительной нагрузки  $Q_{\text{осв}}$ , кВАр, расчет произведен по формуле (33)

$$Q_{\text{осв}} = 1,8 \cdot 0,33 = 0,6 \text{ кВАр.}$$

Полная мощность осветительной нагрузки  $S_{\text{осв}}$ , кВА, по формуле (34)

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{1,8^2 + 0,6^2} = 1,9 \text{ кВА.}$$

Максимальный ток освещения  $I_{\text{осв}}$ , А, по формуле (34)

$$I_{\text{осв}} = \frac{1900 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 380} = 2,9 \text{ А.}$$

Выбран автоматический выключатель ВА47-29 [6]. Его технические параметры  $I_{\text{ном}} = 6 \text{ А}$ ,  $I_{\text{т.р.}} = 6 \text{ А}$ . Подключение к щиту освещения выполнено кабелем ВВГ<sub>нг(А)LS</sub> 5×1,5 [11].  $I_{\text{доп}} = 16\text{А}$ ,  $I_{\text{ном}} = 16\text{А}$ .

Распределительные сети освещения выполняются шинопроводом освещения ШОС тип Eline KAP0605-B-STD [12]. Шинопровод запитан от щита освещения.

## 5 Разработка мероприятий по компенсации реактивной мощности

С учетом энергопотребления городских инфраструктур компенсация реактивной мощности часто направлена на снижение эксплуатационного потребления распределительной сети и одновременное улучшение качества напряжения. Экономия энергии на производстве заключается в эффективном использовании ее за счет правильной эксплуатации промышленности [13].

Конденсаторные установки реактивной мощности применяются на предприятиях, так как имеют ряд преимуществ по сравнению с другими методами компенсации.

Для электродвигателей и силовых трансформаторов, чтобы подобрать конденсаторную установку в целях рационального использования электроэнергии, необходимо предусмотреть электрические параметры, расположение установки и учесть состояние систем энергопроизводства. При соблюдении этих моментов конденсаторная установка максимально обеспечит эффективную, качественную работу [15].

Исходные параметры:

- номинальное напряжение питающей сети  $U_H = 380/220\text{В}$ ;
- $P_{см} = 380,18$  – среднесменная активная мощность, кВт;
- $\text{tg}\varphi_1 = 1,08$  – значение тангенса потерь, соответствующее коэффициенту мощности до компенсации  $\cos\varphi_1$ ;
- $\text{tg}\varphi_2$  – значение тангенса потерь, соответствующее установленному коэффициенту мощности  $\cos\varphi_2 = (0,94-0,95)$ ;
- $\alpha = 0,8$  – коэффициент, учитывающий изменение среднегодового потребления электрической энергии.

Номинальная реактивная мощность установки  $Q_{к.}$ , кВАр

$$Q_{к.р.} = P_{см} \cdot \alpha \cdot (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_1), \quad (37)$$

$$Q_{к.р.} = 380,18 \cdot 0,8 \cdot (1,08 - 0,36) = 219,1 \text{ кВАр.}$$

Предварительно выбрана компенсирующая установка УКРМФ 0.4-225-25 (Ерс)[8].

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

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{факт.}} = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{к.р.}}{P_{см} \cdot \alpha'}, \quad (38)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{факт.}} = 1,08 - \frac{225}{380,18 \cdot 0,8} = 0,34.$$

Фактический  $\operatorname{tg}\varphi = 0,34$  соответствует  $\cos\varphi = 0,94$

Выбираем конденсаторную установку УКРМФ 0.4-225-25 (Ерс) [8].

## **6 Выбор количества и установленной мощности трансформаторов комплектной трансформаторной подстанции**

«Силовые трансформаторы являются основными элементами систем электроснабжения и используются во всех отраслях экономики, включая промышленность, жилищно-коммунальное и сельское хозяйство, отдельные учреждения, организации, фирмы. Надежность электроснабжения различных потребителей и экономичность работы электрооборудования во многом правильным выбором вида и мощности силовых трансформаторов» [2].

«Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанциях определяется величиной и характером электрических нагрузок (требуемой надежностью электроснабжения и характером потребления электроэнергии), территориальным размещением нагрузок, их перспективным изменением и при необходимости обосновывается технико-экономическими расчетами» [19].

Трех трансформаторные подстанции на производстве используются в крайне редких случаях. Это приводит к дополнительным капитальным затратам, эксплуатационным расходам, что экономически не целесообразно [30]. Поэтому в основном в системах электроснабжения на предприятиях применяются одно и двух трансформаторные подстанции.

Исходные данные:

- номинальное напряжение питающей сети  $U_H = 380/220\text{В}$ ;
- коэффициент мощности после компенсации –  $\cos\alpha_K = 0,95$ ;
- коэффициент максимума –  $K_m = 1,19$ ;
- мощность нагрузки (активная, среднесменная) –  $P_{cm} = 380,18 \text{ кВт}$ ;
- расчетное значение полной максимальной мощности после

компенсации с учетом потерь трансформатора,  $S_{\text{макс.}} = 487,4 \text{ кВА}$ .

Число и мощность трансформаторов выбирают с учетом категории потребителей, перегрузочной способности трансформатора.



«Выбор номинальной мощности силового трансформатора КТП осуществляется на основании расчетной максимальной нагрузки, после компенсации реактивной мощности с учетом потерь трансформатора»[16].

Условие соответствия мощности трансформатора:

$$S_{\text{тр}} \geq S_{\text{макс.рас.}} \quad (39)$$

где  $S_{\text{тр}}$  – мощность трансформатора, кВА.

Активные потери мощности трансформатора  $\Delta P_{\text{тр}}$ , кВт

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot S_{\text{макс}}, \quad (40)$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot 487,4 = 9,7 \text{ кВт.}$$

Реактивные потери мощности трансформатора  $\Delta Q_{\text{тр}}$ , кВАр

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot S_{\text{макс}}, \quad (41)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot 487,4 = 48,7 \text{ кВАр.}$$

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

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{\Delta P_{\text{тр}}^2 + \Delta Q_{\text{тр}}^2}, \quad (42)$$

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{9,7^2 + 48,6^2} = 49,7 \text{ кВА.}$$

Расчетное значение полной максимальной мощности на высокой стороне  $S_{\text{тр.ВН}}$ , кВА

$$S_{\text{тр.ВН}} = S_{\text{макс}} + \Delta S_{\text{тр}}, \quad (43)$$

$$S_{\text{тр.ВН}} = 487,4 + 49,7 = 537 \text{ кВА.}$$

Выбирают трансформатор стандартной мощности  $S_{\text{тр}}$ , кВА

$$630 \geq 537$$

Коэффициент загрузки трансформатора  $K_3$

$$K_3 = \frac{S_{\text{макс}}}{S_{\text{т}}} \quad (44)$$

$$K_3 = \frac{537}{630} = 0,8.$$

Подстанция КТП 630-10/0,4 [10] с герметичным трансформатором типа ТМГ12-630/10 [10] обеспечивающая электроснабжение цеха, как в нормальном, так и в аварийном режимах.

«Технические характеристики КТП 630-10/0,4:

- мощность трансформатора  $S_{\text{тр}} = 630$  кВА;
- схема соединения обмоток Y/Yn-0; D/Yn-11;
- напряжение обмоток высшего напряжения  $U_{1н} = 10,5$  кВ;
- напряжение обмоток низшего напряжения  $U_{2н} = 0,4$  кВ;
- напряжение короткого замыкания  $u_{кз} = 5,5\%$ ;
- мощность потерь короткого замыкания  $P_{кз} = 6,75$  кВт;
- ток холостого хода  $i_0 = 0,7\%$ ;
- мощность потерь холостого хода  $P_0 = 0,8$  кВт» [10].

## 7 Расчет 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» [16].

Данные для расчета токов короткого замыкания:

- мощность головного трансформатора  $S_{н.т.} = 100$  МВА;
- напряжение короткого замыкания  $u_{к.з1} = 10,5$  %;
- мощность трансформатора цеховой КТП  $S_{тр} = 630$  кВА;
- напряжение короткого замыкания  $u_{к.з2} = 5,5$  %;
- напряжение трансформатора 10/0,4 кВ;
- базисная мощность системы неограниченной мощности  $S_б = 100$  МВА;
- базисное напряжение  $U_б = 115$  кВ;
- относительное базисное сопротивление системы неограниченной мощности принято  $x_c = 0,3$ ;

- длина воздушной линии (ЛЭП)  $L_1 = 80$  км;
- длина кабельной линии  $L_k = 1,5$  км.

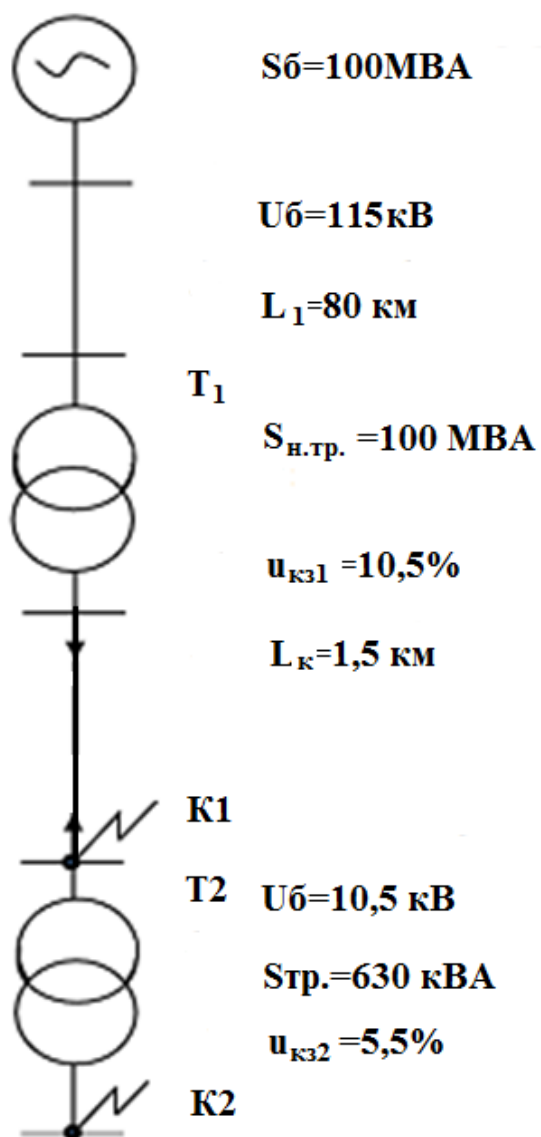


Рисунок 2 - Схема расчетная к расчету токов короткого замыкания

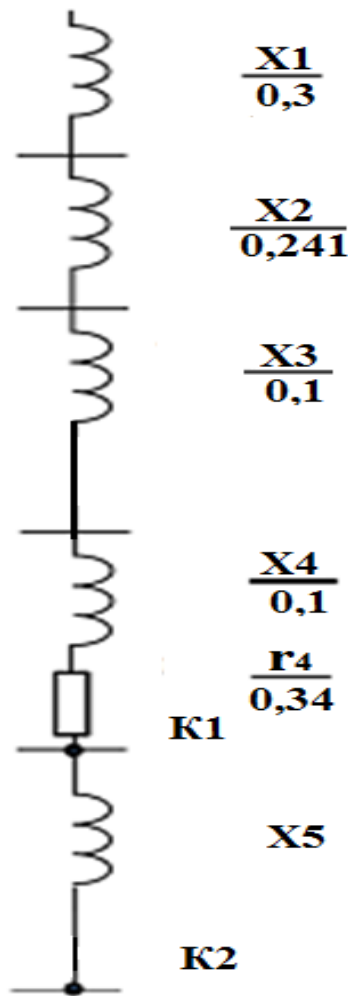


Рисунок 3 - Схема замещения к расчету токов короткого замыкания

Сопротивление системы  $x_1 = x_c = 0,3$

Относительное сопротивление высоковольтной линии  $x_2$

$$x_2 = x_0 \cdot L_1 \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (45)$$

$$x_2 = 0,4 \cdot 80 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,241.$$

где  $L_1$  – длина воздушной линии, км;

$S_6$  – базисная мощность, МВА;

$U_6$  – базисное напряжение, кВ;

« $x_0 = 0,4$  Ом/км – сопротивление высоковольтной линии» [16].

Сопротивление трансформатора ГПП  $x_3$

$$x_3 = \frac{u_k \% \cdot S_6}{100 \cdot S_{н.тр.}}, \quad (46)$$

$$x_3 = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 100} = 0,1.$$

где  $u_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр.}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА.

Индуктивное сопротивление кабельной линии  $x_4$

$$x_4 = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (47)$$

$$x_4 = 0,08 \cdot 1,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,1.$$

где « $x_0 = 0,08$  Ом/км – индуктивное сопротивление кабеля» [16]

Активное сопротивление кабельной линии  $r_4$

$$r_4 = R_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (48)$$

$$r_4 = 0,25 \cdot 1,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,34.$$

где « $r_0 = 0,25$  Ом/км – активное сопротивление кабеля» [16]

Расчет токов короткого замыкания в точке  $K_1$

Ток короткого замыкания в точке  $K_1$   $I_{кз}$ , кА

$$I_{кз} = \frac{I_6}{Z_{к1}}, \quad (49)$$

где  $I_6$  – базисный ток, кА;

$U_6$  – номинальное напряжение на низкой стороне трансформатора, кВ;

$Z_{к1}$  – полное сопротивление до точки короткого замыкания  $K_1$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \text{ кА} \quad (50)$$

$$I_6 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.}$$

Суммарное сопротивление цепи до расчетной точки  $X_{\Sigma K1}$

$$X_{\Sigma K1} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4, \quad (51)$$

$$X_{\Sigma K1} = 0,3 + 0,241 + 0,1 + 0,1 = 0,741.$$

«Активное сопротивление кабеля учитывается, если оно больше 1/3 суммарного индуктивного сопротивления до расчетной точки короткого замыкания» [18].

$$r_4 > \frac{1}{3} X_{\Sigma K1}$$

$$0,34 > \frac{0,741}{3}$$

$$Z_{к1} = \sqrt{r^2 + x_{к1}^2}, \quad (52)$$

$$Z_{к1} = \sqrt{0,34^2 + 0,741^2} = 0,815.$$

Ток короткого замыкания по формуле (52)

$$I_{кз} = \frac{5,5}{0,815} = 6,7 \text{ кА.}$$

Ударный ток короткого замыкания  $i_y$ , кА

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{кз}, \quad (53)$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,7 = 17 \text{ кА.}$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент равный 1,8 [16]

Мощность короткого замыкания  $S_{кз1}$ , МВА

$$S_{кз1} = \frac{S_6}{Z}, \quad (54)$$

$$S_{кз1} = \frac{100}{0,815} = 122,7 \text{ МВА.}$$



## 8 Расчет и выбор аппаратуры защиты, проводников

«Провода и кабели, выбранные по номинальному или максимальному току, в нормальном режиме могут испытывать нагрузки, значительно превышающие допустимые из-за перегрузок электроприемников, а так же при однофазных коротких замыканиях (КЗ), поэтому как электроприемники, так и участки сети должны защищаться защитными аппаратами: плавкими предохранителями, автоматическими выключателями, магнитными пускателями» [17].

«Элементами предохранителя являются: корпус (патрон), контактное устройство и плавкая вставка. Некоторые виды плавких предохранителей имеют специальное устройство для гашения дуги. Обычно плавкие вставки находятся внутри корпуса. Принцип действия основан на размыкании электрической цепи при выделении тепла током, проходящим по плавкой вставке.

Автоматические воздушные выключатели применяются в электроустановках с напряжением до 1000 В. Они предназначены для автоматического отключения электроустановок при возникновении в них перегрузок и коротких замыканий» [19].

Для торцовочного станка, номинальной мощностью 12 кВт выполним расчет, выбор автоматического выключателя.

Номинальный ток электроприемника  $I_{\text{ном1}}$ , А

$$I_{\text{ном1}} = \frac{P_{\text{ном1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (44)$$
$$I_{\text{ном1}} = \frac{12000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,82 \cdot 0,9} = 31,17 \text{ А.}$$

Номинальный ток теплового расцепителя  $I_{\text{т.р.1}}$ , А

$$I_{т.р.1} = 1,15 \cdot I_{ном1}, \quad (55)$$
$$I_{т.р.1} = 1,15 \cdot 31,17 = 35,85 \text{ А.}$$

Пусковой ток электроприемника  $I_{пуск1}$ , А

$$I_{пуск1} = I_{ном1} \cdot K_{п}, \quad (56)$$
$$I_{пуск1} = 31,17 \cdot 5 = 155,85 \text{ А.}$$

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

$$I_{эл.р.1} = I_{пуск1} \cdot 1,25, \quad (57)$$
$$I_{эл.р.1} = 155,85 \cdot 1,25 = 194,81 \text{ А.}$$

Выбран автоматический выключатель ВА51-29 [11].

$I_{ном} = 40 \text{ А}$ ,  $I_{т.р.} = 40 \text{ А}$ . Подключение к распределительному пункту выполнено кабелем ВВГнг(А)LS 4х6.

Расчеты занесены в таблицу 4.

Таблица 4 - Монтажная таблица

№ позиций	Наименование электроприёмников	Количество Электроприёмников в группах, п, шт.	Номинальная мощность электроприёмника $P_n$ , кВт	Номинальный ток электроприёмника $I_{ном}$ , А	Пусковой ток электроприёмника $I_{пуск}$ , А	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{т.р.}$ , 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	14
3	Торцовочный станок	7	12	26,2	150	30,1	40	222,5	630	63	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x6	40
РП 2 Пункт распределительный ПР11-3111-54У2 (NY-12.202.110.3E) на 9 линейных автоматов с вводным автоматическим выключателем ВА 51-31 $I_{ном.а.}=100$ А, $I_{т.р.}=100$ А													
4	Станок токарный	6	15,8	46	231	53	63	289	630	63	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x10	50
РП 3 Пункт распределительный ПР11-3124-54У1 (NY-12.202.110.3E) на 9 линейных автоматов с вводным автоматическим выключателем ВА 51Г-31 $I_{ном.а.}=100$ А, $I_{т.р.}=100$ А													
7	Автомат токарный одношпиндельный	3	11,2	31	956	36	40	1195	630	63	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x6	40
8	Станок заточной	5	3,5	10	50	11,5	12,5	62,5	160	16	ВА 51-25	ВВГнг(А)-LS 4x1,5	16
26	Стенд контаватель	1	10	75	373	86	100	466	1000	100	ВА 51-31-1	ВВГнг(А)-LS 4x16	75
РП 4 Пункт распределительный ПР11-3112-54У2 (NY-12.202.110.3E) на 12 линейных автоматов с вводным автоматическим выключателем ВА 51-29 $I_{ном.а.}=63$ А, $I_{т.р.}=63$ А													
5	Фрезерный станок	3	12,8	35	176	40	50	220	630	63	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x6	40
6	Сверлильный станок	6	7,5	21	105	24,15	25	131,25	250	25	ВА 51-25	ВВГнг(А)-LS 4x2,5	25
ШРА 1 Шинопроводная система распределения энергии E-Line МКС2254STD-проводниковая (L1,L2,L3,N,PE), $I_{ном} = 225$ А, ВА51-35, $I_{н.а} = 250$ А.													

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Переключки	4	4	8,72	43,6	10	16	69	160	16	BA 51-16	ВВГнг(А)-LS 4x1,5	16
2	Сборочный полуавтомат	1	26	93	283,4	65,2	80	354,2	100	100	BA 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x35	115
РП 1 Пункт распределительный ПР11-3060-54У1 (NY-12.202.110.3E) на 9 линейных автоматов с вводным автоматическим выключателем BA 51-29 Iном.а.=125А, Iт.р.=63А													
9	Станок токарный специальный	10	15,8	44	218	51	63	272	630	63	BA 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x10	50
ШРА 2 Шинопроводная система распределения энергии E-Line МКС1654STD-проводниковая (L1,L2,L3,N,PE), Iном = 160А, BA51-33, Iн.а = 160А.													
16	Машина клепальная	9	16,5	36	180	51,4	63	308	630	63	BA 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x10	50
РП 5 Пункт распределительный ПР11-3124-54У1 (NY-12.202.110.3E) на 12 линейных автоматов с вводным автоматическим выключателем BA 51-33 Iном.а.=160А, Iт.р.=160А													
10	Полуавтомат токарный	2	15	41	207	47	50	258	630	63	BA 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x10	50
11	Станок шпоночно-фрезерный	4	11	39	196	45	40	246	630	63	BA 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x10	50
12	Резьбонарезной станок	3	7,2	26	129	30	31,5	161	630	63	BA 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x4	30
РП 6 Пункт распределительный ПР - 11 3108 54- У2 (NY-12.202.110.3E) на 12 линейных автоматов с вводным автоматическим выключателем BA 51-29 Iном.а.=63А, Iт.р.=63А													
13	Болтонарезной станок	3	11,2	40	200	46	50	250	630	63	BA 51-29	ВВГнг(А)-LS4x6	40
РП 7 Пункт распределительный ПР11-3060-54У2 (NY-12.202.110.3E) на 6 линейных автоматов с вводным автоматическим выключателем BA 51-25 Iном.а.=40А, Iт.р.=40А													
17	Заточной станок для фрезерных головок	6	7,2	26	129	30	40	161	630	63	BA 51-29	ВВГнг(А)-L S4x4	30
18	Штамп пробивной фасонный	6	4,2	12	58	14	16	72	250	25	BA 51-25	ВВГнг(А)-LS 4x2,5	25
ШРА 3 Шинопроводная система распределения энергии E-Line МКС2254STD-проводниковая (L1,L2,L3,N,PE), Iном = 250А, BA51-35, Iн.а = 250А.													

19	Автомат резьбонакатный	3	13,5	37	185	43	50	231	500	50	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x6	40
----	---------------------------	---	------	----	-----	----	----	-----	-----	----	----------	-----------------	----

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
22	Печь сушильная конвейерная	1	45	68,4		78,6	80	530	1000	100	ВА 51Г-31	ВВГнг(А)-LS 4x25	90
25	Ванна гальваническая	3	15	35,8	179	41,15	50	223,74	630	63	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x6	40
	ПП 8 Пункт распределительный ПР11-3114-54У2 (NY-12.202.110.3E) на 12 линейных автоматов с вводным автоматическим выключателем ВА 51-35 Iном.а.=160А Iт.р.=250А												
14	Поперечнострогаль- ный станок	12	16,2	45	233	52	63	279	630	63	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x10	50
	ШПА 4 Шинопроводная система распределения энергии E-Line КОС0254ИСТДВ-проводниковая (L1,L2,L3,N,PE), Iном = 250А, ВА51-35, Iн.а = 250А. Iт.р.=250А												
15	Алмазносточной станок	7	19	41,4	207,7	47,6	63	327	630	63	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x10	50
	ШПА 5 Шинопроводная система распределения энергии E-Line МКС1054STD-проводниковая (L1,L2,L3,N,PE), Iном = 125А, ВА51-31, Iн.а = 125А												
20	Пресс кривошипный	4	30	63,4	327	75	80	517	1000	100	ВА 51Г-31	ВВГнг(А)-LS 4x25	90
23	Автомат гайковывсадочный	2	10	28	138	32	40	172	630	63	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x4	30
	ШПА 6 Шинопроводная система распределения энергии E-Line МКС1654STD-проводниковая (L1,L2,L3,N,PE), Iном = 160А, ВА51-33, Iн.а = 160А.												
21	Автомат трехпозиционный высадочный	7	18	50	250	58	63	301	630	63	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x10	50
	ШПА 7 Шинопроводная система распределения энергии МКС1054STD-проводниковая (L1,L2,L3,N,PE), Iном = 125А, ВА51-31, Iн.а = 125А												
24	Автомат болтовывсадочный	7	18,5	40,3	202	46,4	50	319	630	63	ВА 51-29	ВВГнг(А)-LS 4x16	75
	ШПА 8 Шинопроводная система распределения энергии E-Line МКС1054STD-проводниковая (L1,L2,L3,N,PE), Iном = 125А, ВА51-31, Iн.а = 125А												
	ШМА Шинопроводная система распределения энергии E-Line КВС-И1050-В-STD 1000 А, ВА 53-41-1000 , Iн.а = 1000А												

## 9 Выбор высоковольтного кабеля, высоковольтного оборудования

При передаче электроэнергии от источника к потребителю возникают потери в линии электропередач, которые увеличиваются с ростом сопротивления линии, что зависит от сечения линии, таким образом, чем больше сечения линии, тем меньше потери. Но это ведет к большому расходу цветного металла и увеличению капитальных затрат на содержание линии. «В электроустановках напряжением выше 1 кВ сечение проводов линии в целях уменьшения затрат, эксплуатационных расходов принято выбирать по экономической плотности тока [20].

Кабели, как шины, выбираются по номинальным потерям (тока, напряжения) и проверяется на термическую устойчивость при коротких замыканиях» [28].

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

$$I_{н.тр.} = \frac{S_{н.тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (58)$$
$$I_{н.тр.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,37 \text{ А.}$$

где  $S_{н.тр.}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{ном.}$  – номинальное напряжение трансформатора, кВ.

Предварительное сечение кабеля по экономической плотности тока  $S$ , мм<sup>2</sup>.

$$S = \frac{I_{н.тр.}}{\gamma_{э}}, \quad (59)$$
$$S = \frac{36,37}{1,2} = 30,3 \rightarrow 50 \text{ мм}^2$$

где  $\gamma_3 = 1,2 \text{ А/мм}^2$  – экономическая плотность тока для алюминиевого кабеля.

Предварительно выбираем кабель стандартного сечения  $50 \text{ мм}^2$ .

Сделаем проверку сечения кабеля на термическую устойчивость токам короткого замыкания  $S_{\text{мин}}, \text{ мм}^2$

$$S_{\text{мин}} = \frac{(I_{\text{к.з.к1}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}})}{c}, \quad (60)$$
$$S_{\text{мин}} = \frac{(6,7 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,6})}{85} = 61 \text{ мм}^2.$$

где  $c = 85$  (141) – для кабелей и шин с алюминиевыми (медными) жилами

На основании расчёта выбранный ранее кабель не проходит проверку на термическую стойкость.

- сечение провода высоковольтного кабеля [16]

Выбран кабель типа ААШв на номинальный допустимый ток  $165 \text{ А}$ , сечением  $70 \text{ мм}^2$ , 3 жилы, в земле, что соответствует условию.

Выбор высоковольтных выключателей напряжением выше  $1000 \text{ В}$

Расчет высоковольтного выключателя выключатель  $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$

$$I_{\text{к1}}^2 \cdot t_{\text{пр}}, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (61)$$

где  $I_{\text{к1}}$  – значение тока короткого замыкания в точке К1, кА

$t_{\text{пр}}$  – установленное приведенное время, с.

Мощность короткого замыкания  $S_{\text{к}}, \text{ МВА}$

$$S_{\text{к}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot I_{\text{к1}}, \quad (62)$$

где  $U_{\text{н}}$  – номинальное значение, кВ

Исходные данные

$I_{к1} = 6,7$  – значение тока короткого замыкания в точке К1, кА;

$t_{пр.} = 0,6$  – установленное приведенное время, с;

где  $U_n$  – номинальное значение, кВ;

- вакуумный выключатель  $кА^2 \cdot с$ .

$$6,7^2 \cdot 0,6 = 27 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

$$27 \leq 51$$

Мощность короткого замыкания  $S_k$ , МВА.

$$S_k = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 6,7 = 122 \text{ МВА.}$$

Выбран вакуумный выключатель ВБМ-10-20/630-1000 [11].

«Разъединители. Используют их в системах электроснабжения напряжением выше 1000 В для разъединения и переключения участков сети, находящихся под напряжением» [29]. «Разъединители создают необходимый видимый разрыв электрической цепи, требуемый условиями эксплуатации электроустановок» [25].

Расчет разъединителя,  $кА^2с$ .

$$I_{к1}^2 \cdot t_{пр} = 6,7^2 \cdot 0,6 = 27 \text{ кА}^2\text{с}$$

Выбран разъединитель РВЗ-10/1000 [9].

Выбор трансформаторов тока

Расчет трансформатора тока  $к_{дин}$



$$k_{\text{дин}} = \frac{i_y}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМ1}}}, \quad (63)$$

где  $i_y$  – ударный ток в точке К1, кА

$I_{\text{НОМ}} = 0,1$  – номинальный первичный ток трансформатора тока, А

Термическая устойчивость трансформатора тока  $k_t$

$$k_1 = \frac{I_{\text{к1}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{I_{\text{НОМ1}}}, \quad (64)$$

Исходные данные:

$i_y=17$  – ударный ток в точке К1, кА

$I_{\text{НОМ}} = 0,1$  – номинальный первичный ток трансформатора тока, А

$I_{\text{к1}}=6,7$  – значение тока короткого замыкания в точке К1, кА

Расчет трансформатора тока  $k_{\text{дин}}$ .

$$k_{\text{дин}} = \frac{17}{\sqrt{2} \cdot 0,1} = 120,2,$$

Термическая устойчивость трансформатора тока  $k_t$ .

$$k_t = \frac{6,7 \cdot \sqrt{0,6}}{0,1} = 52.$$

Выбран трансформатор тока ТПЛ-10-100/5 [10].

## Заключение

Важнейшей сферой жизнеобеспечения в современном мире является электроснабжение. Развитие электроэнергетики, как отрасли, ведет к становлению современной промышленности, улучшению качества жизни населения, поэтому электроснабжение занимает ведущую роль.

В выпускной квалификационной работе произведено проектирование распределительной сети ремонтно-механического цеха химического предприятия.

Электрооборудование проектируемого ремонтно-механического цеха относится к потребителям 3 категории надежности электроснабжения. Был рассчитан и выбран масляный трансформатор герметичного исполнения ТМГ12-630-10/0,4. По стороне низкого напряжения для питания электроприемников применяется четырехпроводная электрическая сеть напряжением 380/220V, переменного тока промышленной частоты 50Гц, с глухозаземленной нейтралью для совместного питания силовых и осветительных нагрузок, что обеспечивает надежность работы электромеханического оборудования. Силовая сеть выполнена смешанной схемой, состоящая из: 1 магистрального шинпровода, 8 распределительных шинпроводов и 8 распределительных пунктов.

К ШРА подключены электроприемники с помощью ответвительных коробок с автоматическими выключателями, дающие возможность, не отключая другие электроприемники производить ремонт, не вызывая простоя всего оборудования.

Были рассчитаны и выбраны эффективные кабели ВВГ<sub>нг</sub> провода ПВ с улучшенной изоляцией. Приняты к установке современные автоматические выключатели ВА на различные номинальные токи. Установлены светодиодные светильники типа ПромЛед ПРОФИ v3.0-100 Мультилинза Экстра обеспечивают требуемую нормируемую освещенность 400 лк. Установлена

современная и экономичная конденсаторная компенсирующая установка УКРМФ 0.4-225-25 (Ерс), с мощностью 225 кВАр.

Получены следующие результаты:

- рассчитаны электрические нагрузки системы электроснабжения объекта;
- произведен выбор мощности компенсирующих устройств РМЦ;
- произведен выбор числа и мощности трансформаторов;
- произведен расчет токов короткого замыкания;
- спроектирована система освещения цеха.

Принятые технические решения в выпускной квалификационной работе имеют практическую значимость, могут быть использованы при проектировании распределительных сетей подобных производственных участков.

## Список используемых источников и используемой литературы

1. Акимов Н.А., Котеленец Н.А., Сентирюхин Н.И., Монтаж технического и ремонт электрического и электромеханического оборудования, М., «Академия», 2014, 296 с.
2. Быстрицкий Г.Ф. Электроснабжение. Силовые трансформаторы: учеб.пособие для СПО / Г.Ф. Быстрицкий, Б.И. Кудрин. – 2-е изд., испр. И доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018.
3. Девисилов В.А., Охрана труда, М., «Форум-Инфра-М», 2016, 266 с.;
4. Занько Н.Г., Малаян К.Р., Русак О. Н. Безопасность жизнедеятельности: Учебник / Под ред. О.Н. Русака. СПб.: «Лань», 2022.
5. Иванов В. С., Соколов В. И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2017. – 336с.
6. Каталог выбора осветительных приборов URL: [https://old.iek.ru/products/catalog/modulnoe\\_oborudovanie/](https://old.iek.ru/products/catalog/modulnoe_oborudovanie/) (дата обращения 18.03.2023).
7. Каталог выбора товаров низковольтного и промышленного электрооборудования URL: <https://rs24.ru/product/152736> (дата обращения 12.03.2023).
8. Каталог выбора конденсаторной установки URL: <https://www.prom-elec.ru/catalog/k-8066157-ukrmf> (дата обращения 21.03.2023).
9. Каталог выбора выключателя URL: <https://vorgaz.com/pribor/6185> (Дата обращения 22.03.2023).
10. Каталог выбора комплектной трансформаторной подстанции URL: [https://www.energoportal.ru/catalog/transformatornye-podstancii;p1005\\_ktp;p1040\\_630;p1046\\_10;p1047\\_0-4](https://www.energoportal.ru/catalog/transformatornye-podstancii;p1005_ktp;p1040_630;p1046_10;p1047_0-4) (Дата обращения 22.03.2023).

11. Каталог выбора высоковольтного выключателя URL: <https://oorza.ru/catalog/product/view/138/1437.html> (Дата обращения 22.03.2023).
12. Каталог выбора шинопровода URL: <https://smart-shop.pro/itemcard/EAE/3048686> (дата обращения 18.03.2023).
13. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д., Электроснабжение промышленных предприятий и установок, М., «Академия», 2016, 528 с.
14. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов, М., Мастерство, 2011, 318 с.
15. Красник В.В. Автоматические устройства по компенсации реактивной мощности в электросетях предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2016. – 136с.
16. Липкин Б.Ю., Электроснабжение промышленных предприятий и установок, М., «Академия», 2015, 356 с.
17. Правила по охране при эксплуатации электроустановок (введены в действие с 24.07.2014г., зарегистрировано Минюстом РФ №30593 от 12.12.2013г.)
18. Правила устройства электроустановок, М., (издатель Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ – приказ №384 от 04.12.2013г.)
19. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В., Электрооборудование электрических станций и подстанций, М., Академия, 2013г., 446 с.
20. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий, М., «Академия», 2016, 432 с.
21. Сибикин Ю.Д., Электроснабжение промышленных и гражданских зданий, М., «Академия», 2014г, 361 с.
22. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова и др. – М.: Энергоатомиздат, 2014.

23. Цигельман И.Е., Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий, М., «Академия», 2016, 318 с.
24. Шеховцов В.П., Расчет и проектирование схем электроснабжения, М., «Форум-Инфра-М», 2016, 120 с.
25. Яковлева В.И. Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования, М., «Форум-Инфра-М», 2016, 620 с.
26. 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.
27. O'Connell A. Unbalanced distribution system voltage optimization // 2016 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), Slovenia, Ljubljana, October 9-12, 2016, pp. 1-6.
28. Sanseverino E.R. Favuzza S., Di Silvestre M.L., et al. Improved primary regulation for minimum energy losses in islanded microgrids // 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe, Italy, Torino, September 26-29, 2017, 6 p.
29. 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.
30. 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.