

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 электроснабжения ремонтно-механического завода

Обучающийся

С.А. Куркин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Г. Сорокин

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

Тольятти 2022

## Аннотация

В выпускной квалификационной работе выполнен проект системы электроснабжения ремонтно-механического завода.

Для достижения поставленной цели в представленной работе методом коэффициента спроса рассчитаны электрические нагрузки группы цехов агрегатного завода. На основании рассчитанных электрических нагрузок выбрано число и мощность цеховых трансформаторов и компенсирующих устройств. На основе расчетов выбраны схемы внешнего и внутреннего электроснабжения и определены марка и сечение распределительной кабельной сети, которая выполнена по смешанной схеме. По расчетным нагрузкам выбрано число и мощность трансформаторов главной понижающей подстанции и в соответствии с действующими нормами и стандартами выбрано основное коммутационно-защитное оборудование.

Рассчитаны токи короткого замыкания в заданных точках распределительной сети предприятия, по которым были проверены электрические аппараты. Аппараты были проверены по условию номинального напряжения, тока, термической и электродинамической стойкости. Автоматические выключатели также были проверены на отключающую способность, а трансформаторы тока и напряжения были проверены на условие полной мощности вторичной нагрузки приборов.

Выпускная квалификационная работа состоит из текстовой и графической части. Текстовая часть представлена в виде пояснительной записки выполненной на 46 страницах. Пояснительная записка также содержит 11 таблиц, 3 рисунка. Список использованных источников включает в себя 25 наименований, в том числе 5 на английском языке.

Графическая часть выполнена на 6 чертежах формата А1.

## Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика объекта проектирования .....	5
2 Расчет электрических нагрузок ремонтно-механического завода.....	7
3 Выбор высоковольтных электродвигателей.....	18
4 Выбор распределительных трансформаторов.....	21
5 Выбор кабелей .....	27
6 Расчет токов короткого замыкания .....	30
7 Выбор электрических аппаратов ремонтно-механического завода.....	34
Заключение .....	42
Список используемых источников.....	44

## Введение

«Проектируемая система электроснабжения механического завода должна обеспечивать подачу электроэнергии в необходимом количестве и соответствующего качества от энергосистемы к производственным установкам и механизмам»[1].

Целью выпускной квалификационной работы является выполнение проекта электроснабжения ремонтно-механического завода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести расчеты электрических нагрузок;
- провести выбор высоковольтных электродвигателей;
- провести выбор распределительных трансформаторов, отдавая предпочтение сухим трансформаторам;
- провести выбор кабелей;
- провести расчет токов короткого замыкания;
- провести выбор выключателей, отдавая предпочтение вакуумным выключателям, выбор измерительных трансформаторов, отдавая предпочтение трансформаторам с литой изоляцией.

Со временем эксплуатируемое электрооборудование систем электрохозяйства промышленных предприятий подвергается моральному и физическому износу и это влечет за собой повышенные потери активной мощности в системе электрооборудования и электрохозяйства, высокую стоимость обслуживания электрооборудования, а так же высокий уровень опасности для жизни персонала обслуживающего электрохозяйство аммиачного производства. Для того чтобы повысить эффективность работы системы электрооборудования и электрохозяйства предприятий периодически проводятся реконструкции.

## 1 Краткая характеристика объекта проектирования

Объектом проектирования является система электроснабжения ремонтно-механического завода.

Рассматриваемый ремонтно-механический завод занимается выпуском такой продукции как: элементы подвески автомобиля, автомобильные глушители, элементы кузова автомобиля [2]. От самих РП получают питание цеховые ТП и высоковольтные электроприемники (высоковольтные синхронные и асинхронные двигатели). Исходные данные по цехам приведены в таблице 1. План ремонтно-механический завода представлен на рисунке 1.

Таблица 1 – Исходные данные по цехам

№ цеха	Название цеха	Категория	0,38 кВ	$K_C$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$
1	Сварочный цех	2	4600	0,45	0,65	1,17
2	Цех стального литья	1	1600	0,6	0,65	1,17
3	Сборочный цех	2	3600	0,4	0,65	1,17
4	Прессовый	2	2800	0,45	0,65	1,17
5	Компрессорная	1	200	0,75	0,8	0,56
6	Электроцех	3	1800	0,3	0,6	1,33
7	Термический	2	3500	0,5	0,7	1
8	Котельная	1	250	0,75	0,8	0,56
9	Склад	3	160	0,3	0,6	1,33
10	Насосная	1	120	0,75	0,8	0,56
11	Автоматно-токарный	2	4500	0,45	0,65	1,17
12	Столярный	3	1800	0,4	0,65	1,17
13	Административный корп.	3	420	0,6	0,8	0,75
14	Столовая	3	150	0,6	0,8	0,75
15	Гараж	3	100	0,3	0,6	1,33
16	Цех цветного литья	2	2300	0,6	0,65	1,17

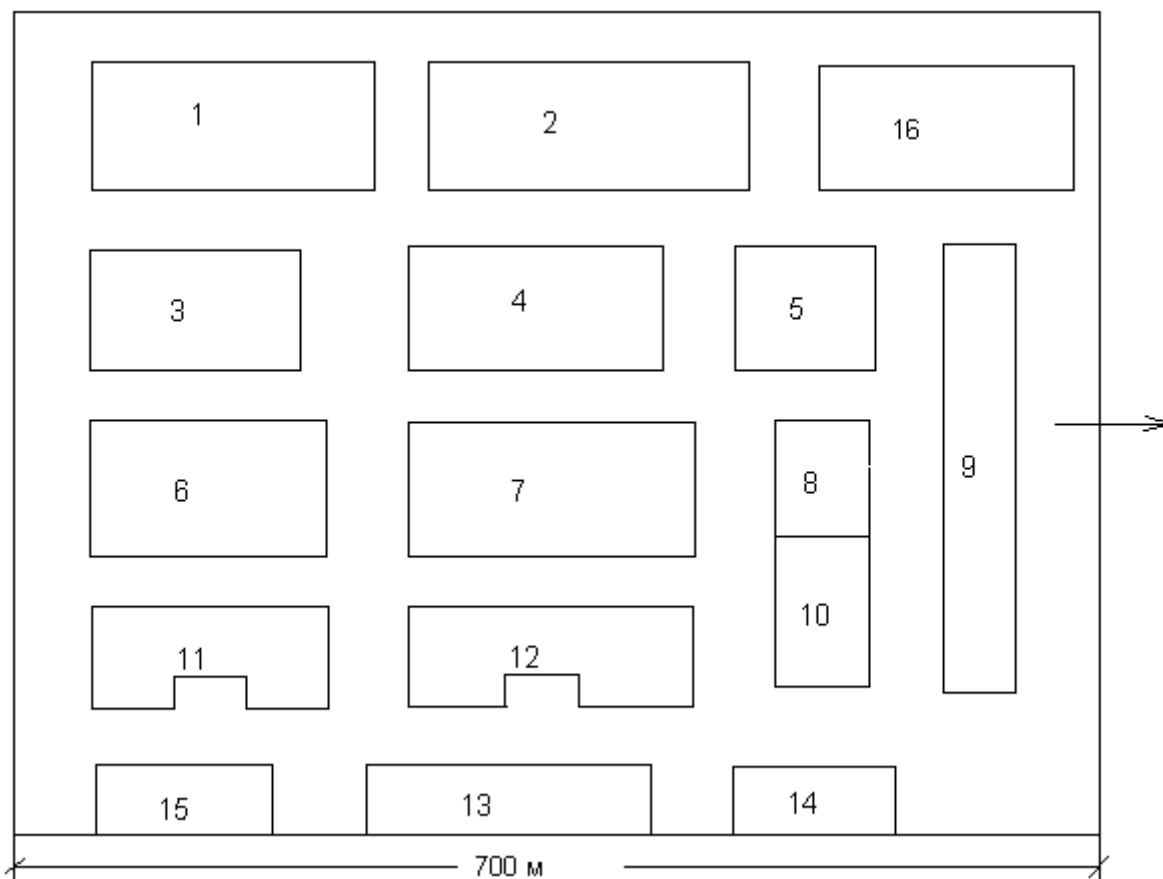


Рисунок 1 – План ремонтно-механический завода

Рассматриваемый завод относится к потребителям с большим энергопотреблением, большинство потребителей относятся первой категории по надежности электроснабжения.

Выводы по разделу. В разделе дана общая информация об объекте проектирования выпускной квалификационной работы, представлен план ремонтно-механический завода.

## 2 Расчет электрических нагрузок ремонтно-механического завода

Расчетные нагрузки являются исходными данными для проектирования. Расчет нагрузок ведется согласно [3].

В качестве примера приведем расчет электрических нагрузок распределительного пункта 17 (РП-17).

Для расчета электрических нагрузок на первом этапе необходимо определить установленную активную мощность группы электроприемников (ЭП) (1):

$$P = n \cdot p_n \quad (1)$$

где  $n$  – число ЭП в группе;

$p_n$  – установленная мощность одного ЭП в группе, кВт.

Определяется установленная мощность группы высоковольтных асинхронных электродвигателей (АД) подключенных к сборным шинам РП-17 по выражению (2):

$$P = 2 \cdot 630 = 1260 \text{ кВт.}$$

Затем определяется среднесменная активная нагрузка группы высоковольтных АД (3):

$$P_c = K_{\text{и}} \cdot P \quad (3)$$

где  $K_{\text{и}}$  – коэффициент использования, для данных АД принимается равным 0,8.

Среднесменная активная нагрузка группы высоковольтных АД для РП-5 по выражению (3):

$$P_c = 0,8 \cdot 1260 = 1008 \text{ кВт.}$$

Теперь необходимо определить среднесменную реактивную нагрузку рассматриваемых АД (4):

$$Q_c = K_{и} \cdot P \cdot tg\varphi$$

где  $tg\varphi$  – принимается равным 0,51.

Среднесменная реактивная нагрузка рассматриваемых АД по выражению (4):

$$Q_c = 0,8 \cdot 1260 \cdot 0,51 = 514,1 \text{ квар}$$

Для остальных ЭП расчет проводится согласно представленной методике, результаты расчетов представлены в таблице 1

Теперь необходимо выполнить расчет электрических нагрузок в целом по РП. Сначала необходимо определить по справочным таблицам [4] коэффициент максимума. Коэффициент максимума определяется в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и числа присоединений на шинах рассматриваемого РП. Согласно данным [5] принимаем коэффициент максимума равным 0,95.

Для определения среднесменных активной и реактивной нагрузок на шинах РП используются выражения (5) и (6):

$$\sum P_c = K_M \cdot P_c, \quad (5)$$

$$\sum Q_c = K_M \cdot Q_c \quad (6)$$

где  $K_M$  – коэффициент максимума.



$K_M$  – Для шин РП-5 согласно (5, 6) определяются значения среднесменных активной и реактивной нагрузок:

$$\begin{aligned}\sum P_c &= 0,95 \cdot 4943,9 = 4696,7 \text{ кВт} \\ \sum Q_c &= 0,95 \cdot 2802,9 = 2662,8 \text{ квар}\end{aligned}$$

Для определения расчетной полной мощности используется выражение (7):

$$S_p = \sqrt{\sum P_c + \sum Q_c} \quad (7)$$

Теперь определяется расчетную полную мощность по выражению (7):

$$S_p = \sqrt{4696,75 + 2662,82} = 5339,1 \text{ кВА}$$

Ток на сборных шинах РП-5 определяется выражением (8):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (8)$$

где  $U$  – напряжение на шинах рассматриваемого РП, кВ.

Определяется ток на сборных шинах по выражению (8):

$$I_p = \frac{5399,08}{\sqrt{3} \cdot 6} = 520,1 \text{ А}$$

для сварочного цеха

$$P_p = 4600 \cdot 0,45 = 2070 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 2070 \cdot 1,17 = 2421,9 \text{ квар}$$

$$\begin{aligned}
P_{PO} &= 15 \cdot 1 \cdot 15,189 = 227,84 \text{ кВт} \\
Q_{PO} &= 0,426 \cdot 227,84 = 97,06 \text{ квар} \\
P_{СУМ} &= 2070 + 227,84 = 2297,84 \text{ кВт} \\
Q_{СУМ} &= 2421,9 + 97,06 = 2518,96 \text{ квар} \\
S_{СУМ} &= \sqrt{(2297,84)^2 + (1715,93)^2} = 3409,57 \text{ кВА} \\
\Delta P_T &= 0,02 \cdot 3409,57 = 68,19 \text{ кВт} \\
\Delta Q_T &= 0,1 \cdot 3409,57 = 340,96 \text{ квар} \\
P_M &= 2070 + 227,84 + 68,19 = 2164,08 \text{ кВт} \\
Q_M &= 2421,9 + 97,06 + 340,96 = 2859,92 \text{ квар} \\
S_M &= \sqrt{(2366,03)^2 + (2859,92)^2} = 3711,76 \text{ кВА}
\end{aligned}$$

для цеха стального литья

$$\begin{aligned}
P_P &= 1600 \cdot 0,6 = 960 \text{ кВт} \\
Q_P &= 960 \cdot 1,17 = 1123,2 \text{ квар} \\
P_{PO} &= 11 \cdot 1 \cdot 17,264 = 189,9 \text{ кВт} \\
Q_{PO} &= 0,426 \cdot 189,9 = 80,9 \text{ квар} \\
P_{СУМ} &= 960 + 189,9 = 1149,9 \text{ кВт} \\
Q_{СУМ} &= 1123,2 + 80,9 = 1204,1 \text{ квар} \\
S_{СУМ} &= \sqrt{(1149,9)^2 + (1204,1)^2} = 1664,97 \text{ кВА} \\
\Delta P_T &= 0,02 \cdot 1664,97 = 33,3 \text{ кВт} \\
\Delta Q_T &= 0,1 \cdot 1664,97 = 166,5 \text{ квар} \\
P_M &= 960 + 189,9 + 33,3 = 1183,2 \text{ кВт} \\
Q_M &= 1123,2 + 80,9 + 271,94 = 1370,6 \text{ квар} \\
S_M &= \sqrt{(1183,2)^2 + (1370,6)^2} = 1810,66 \text{ кВА}
\end{aligned}$$

для сборочного цеха

$$\begin{aligned}
P_P &= 3600 \cdot 0,4 = 1440 \text{ кВт} \\
Q_P &= 1440 \cdot 0,88 = 1684,8 \text{ квар} \\
P_{PO} &= 13 \cdot 1 \cdot 10,744 = 139,67 \text{ кВт} \\
Q_{PO} &= 0,426 \cdot 139,67 = 59,5 \text{ квар}
\end{aligned}$$

$$P_{CUM} = 1440 + 139,67 = 1579,67 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 1684,8 + 59,5 = 1744,3 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(1579,67)^2 + (1744,3)^2} = 2353,28 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 2353,28 = 47,07 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 2353,28 = 253,33 \text{ квар}$$

$$P_M = 1440 + 139,67 + 47,07 = 1626,74 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 1684,8 + 59,5 + 253,33 = 1979,63 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(1626,74)^2 + (1979,63)^2} = 2562,27 \text{ кВА}$$

для прессового цеха

$$P_P = 2800 \cdot 0,45 = 1260 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 1260 \cdot 1,17 = 1474,2 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 13,035 = 143,39 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 143,39 = 61,08 \text{ квар}$$

$$P_{CUM} = 1260 + 143,39 = 1403,39 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 1474,2 + 61,08 = 1535,28 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(1403,39)^2 + (1535,28)^2} = 2080,04 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 2080,04 = 41,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 2080,04 = 208 \text{ квар}$$

$$P_M = 1260 + 143,39 + 41,6 = 1444,99 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 1474,2 + 61,08 + 208 = 1743,29 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(1444,99)^2 + (1743,29)^2} = 2264,29 \text{ кВА}$$

для компрессорной

$$P_P = 200 \cdot 0,75 = 150 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 150 \cdot 0,56 = 84 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 12 \cdot 1 \cdot 7,189 = 86,268 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 86,268 = 36,75 \text{ квар}$$

$$P_{CUM} = 150 + 86,268 = 236,27 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 84 + 36,75 = 120,75 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(236,27)^2 + (120,75)^2} = 265,34 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 265,34 = 5,31 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 265,34 = 26,53 \text{ квар}$$

$$P_M = 150 + 86,268 + 5,31 = 241,57 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 84 + 36,75 + 26,53 = 147,28 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(241,57)^2 + (147,28)^2} = 282,93 \text{ кВА}$$

для электроцеха

$$P_P = 1800 \cdot 0,3 = 540 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 540 \cdot 1,33 = 718,2 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 15 \cdot 1 \cdot 12,382 = 185,73 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 185,73 = 79,12 \text{ квар}$$

$$P_{CUM} = 540 + 185,73 = 725,73 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 718,2 + 79,12 = 797,31 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(725,73)^2 + (797,31)^2} = 1078,15 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 1078,15 = 21,56 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 1078,15 = 107,81 \text{ квар}$$

$$P_M = 540 + 185,73 + 21,56 = 747,29 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 718,2 + 79,12 + 107,81 = 905,14 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(747,29)^2 + (905,14)^2} = 1173,76 \text{ кВА}$$

для термического цеха

$$P_P = 3500 \cdot 0,5 = 1750 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 1800 \cdot 1 = 1750 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 15,824 = 174,06 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 174,06 = 74,15 \text{ квар}$$

$$P_{CUM} = 1750 + 174,06 = 1924,06 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 1750 + 74,15 = 1824,17 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(1924,06)^2 + (1824,17)^2} = 2651,33 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 2651,33 = 53,03 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 2651,33 = 265,13 \text{ квар}$$

$$P_M = 1750 + 174,06 + 53,03 = 1977,09 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 1750 + 74,15 + 265,13 = 2089,28 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(1977,09)^2 + 2089,28^2} = 2876,46 \text{ кВА}$$

для котельной

$$P_P = 250 \cdot 0,75 = 187,5 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 1800 \cdot 0,56 = 105 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 4,55 = 50,05 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 50,05 = 21,32 \text{ квар}$$

$$P_{CUM} = 187,5 + 50,05 = 237,55 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 105 + 21,32 = 126,32 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(237,55)^2 + (126,32)^2} = 269,05 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 269,05 = 5,38 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 269,05 = 26,9 \text{ квар}$$

$$P_M = 187,5 + 50,05 + 5,38 = 242,93 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 105 + 21,32 + 26,9 = 153,22 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(242,93)^2 + (153,22)^2} = 287,22 \text{ кВА}$$

для склада

$$P_P = 160 \cdot 0,3 = 48 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 48 \cdot 1,33 = 63,84 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 13,348 = 146,83 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 146,83 = 62,55 \text{ квар}$$

$$P_{CUM} = 48 + 146,83 = 194,83 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 63,84 + 62,55 = 126,39 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(194,83)^2 + (126,39)^2} = 232,23 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 232,23 = 4,64 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 232,23 = 23,22 \text{ квар}$$

$$P_M = 48 + 146,83 + 4,64 = 199,47 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 63,84 + 62,55 + 23,22 = 149,61 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(199,47)^2 + (149,61)^2} = 249,35 \text{ кВА}$$

для насосной

$$P_P = 120 \cdot 0,75 = 90 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 90 \cdot 0,56 = 50,4 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 6,5 = 71,5 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 71,5 = 30,46 \text{ квар}$$

$$P_{CUM} = 90 + 71,5 = 161,5 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 50,4 + 30,46 = 80,86 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(161,5)^2 + (80,86)^2} = 180,61 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 180,61 = 3,61 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 180,61 = 18,06 \text{ квар}$$

$$P_M = 90 + 71,5 + 3,61 = 165,11 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 50,4 + 30,46 + 18,06 = 98,92 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(165,11)^2 + (98,92)^2} = 192,48 \text{ кВА}$$

для автоматного-токарного цеха

$$P_P = 4500 \cdot 0,45 = 2025 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 2025 \cdot 1,17 = 2369,25 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 15,486 = 170,35 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 170,35 = 72,57 \text{ квар}$$

$$P_{CUM} = 2025 + 170,35 = 2195,35 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 2369,25 + 72,57 = 2441,82 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(2195,35)^2 + (2441,82)^2} = 3283,6 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 3283,6 = 65,67 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 3283,6 = 328,36 \text{ квар}$$

$$P_M = 2025 + 170,35 + 65,67 = 2261,02 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 2369,25 + 72,57 + 328,36 = 2770,18 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(2261,02)^2 + (2770,18)^2} = 3575,76 \text{ кВА}$$

для столярного цеха

$$P_P = 1800 \cdot 0,4 = 720 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 720 \cdot 1,17 = 842,4 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 16 \cdot 1 \cdot 12,025 = 192,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 192,4 = 81,96 \text{ квар}$$

$$P_{CUM} = 720 + 192,4 = 912,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 842,4 + 81,96 = 924,36 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(912,4)^2 + (924,36)^2} = 1298,81 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 1298,81 = 25,98 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 1298,81 = 129,88 \text{ квар}$$

$$P_M = 720 + 192,4 + 25,98 = 938,38 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 842,4 + 81,96 + 129,88 = 1054,24 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(938,38)^2 + (1054,24)^2} = 1411,38 \text{ кВА}$$

для административного корпуса

$$P_P = 420 \cdot 0,6 = 252 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 252 \cdot 0,75 = 189 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 8,235 = 90,585 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 90,585 = 38,59 \text{ квар}$$

$$P_{CUM} = 252 + 90,585 = 342,59 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 189 + 38,59 = 227,59 \text{ квар}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(342,59)^2 + (227,59)^2} = 411,29 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 411,29 = 8,23 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 411,29 = 41,13 \text{ квар}$$

$$P_M = 252 + 90,585 + 8,23 = 350,81 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 189 + 38,59 + 41,13 = 1987,87 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(350,81)^2 + (1987,87)^2} = 441,9 \text{ кВА}$$

для столовой

$$P_P = 150 \cdot 0,6 = 90 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 90 \cdot 0,75 = 67,5 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 4,68 = 51,48 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 51,48 = 21,93 \text{ квар}$$

$$P_{СУМ} = 90 + 51,48 = 141,48 \text{ кВт}$$

$$Q_{СУМ} = 67,5 + 21,93 = 89,43 \text{ квар}$$

$$S_{СУМ} = \sqrt{(141,48)^2 + (89,43)^2} = 167,38 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 167,38 = 3,35 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 167,38 = 16,74 \text{ квар}$$

$$P_M = 90 + 51,48 + 3,35 = 144,83 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 67,5 + 21,93 + 16,74 = 106,17 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(144,83)^2 + (106,17)^2} = 179,57 \text{ кВА}$$

для гаража

$$P_P = 100 \cdot 0,3 = 30 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 30 \cdot 1,33 = 39,9 \text{ квар}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 5,265 = 57,915 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 0,426 \cdot 57,915 = 24,67 \text{ квар}$$

$$P_{СУМ} = 30 + 57,915 = 87,92 \text{ кВт}$$

$$Q_{СУМ} = 39,9 + 24,67 = 64,57 \text{ квар}$$

$$S_{СУМ} = \sqrt{(87,92)^2 + (64,57)^2} = 109,08 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 109,08 = 2,18 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 109,08 = 10,91 \text{ квар}$$

$$P_M = 30 + 57,915 + 2,18 = 90,1 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 39,9 + 24,67 + 10,91 = 75,48 \text{ квар}$$

$$S_M = \sqrt{(90,1)^2 + (75,48)^2} = 117,54 \text{ кВА}$$

для цеха цветного литья

$$P_P = 2300 \cdot 0,6 = 1380 \text{ кВт}$$



$$\begin{aligned}
Q_P &= 1800 \cdot 1,17 = 1614,6 \text{ квар} \\
P_{PO} &= 11 \cdot 1 \cdot 13,695 = 150,65 \text{ кВт} \\
Q_{PO} &= 0,426 \cdot 150,65 = 64,17 \text{ квар} \\
P_{CUM} &= 1380 + 150,65 = 1530,65 \text{ кВт} \\
Q_{CUM} &= 1614,6 + 64,17 = 1678,77 \text{ квар} \\
S_{CUM} &= \sqrt{(1530,65)^2 + (1678,77)^2} = 2271,82 \text{ кВА} \\
\Delta P_T &= 0,02 \cdot 2271,82 = 45,44 \text{ кВт} \\
\Delta Q_T &= 0,1 \cdot 2271,82 = 227,18 \text{ квар} \\
P_M &= 1380 + 150,65 + 45,44 = 1576,08 \text{ кВт} \\
Q_M &= 1614,6 + 64,17 + 227,18 = 1905,96 \text{ квар} \\
S_M &= \sqrt{(1576,08)^2 + (1905,96)^2} = 2473,2 \text{ кВА}
\end{aligned}$$

Выводы по разделу. В данном разделе выпускной квалификационной работы определены расчетные электрические нагрузки ремонтно-механического завода. По результатам расчета электрических нагрузок в выпускной квалификационной работе в дальнейшем будут определяться параметры компенсации реактивной мощности, осуществляться выбор силовых трансформаторов для цеховых подстанций, выбираться кабели и электрические аппараты.

### 3 Выбор высоковольтных электродвигателей

Как говорилось ранее в п.3, в процессе проектирования предполагается выбор высоковольтных электродвигателей класса напряжения 10 кВ. Выбор высоковольтных двигателей производится в соответствии с требованиями главы 5.3 Правил устройства электроустановок [6].

Выбор электродвигателей осуществляется в соответствии с требованиями:

- электрические и механические параметры электродвигателей должны соответствовать параметрам приводимых во вращение механизмов;
- электродвигатели, устанавливаемые в помещениях с нормальной средой должны иметь исполнение IP00 или IP20;
- электродвигатели, устанавливаемые на открытом воздухе должны иметь исполнение не менее IP44;
- электродвигатели, устанавливаемые в помещениях с химически активными парами и газами должны иметь исполнение не менее IP44;

К установке принимаются синхронные и асинхронные двигатели класса напряжения 10 кВ. Такие двигатели имеют ряд преимуществ по сравнению с аналогами рассчитанных на напряжение 6 кВ:

- потребляемый ток двигателем напряжением 10 кВ гораздо ниже, чем у двигателя на напряжение 6 кВ;
- снижается нагрев обмотки статора;
- снижаются потери.

К установке принимаются асинхронные двигатели производства российской компании ОАО «Русэлпром» серии ДА304, ДА30, а так же двигатели производства Германии компании Siemens. Так же в качестве синхронных двигателей выбраны двигатели СТД, ДСВ производства ОАО «Русэлпром». Паспортные данные выбранных электродвигателей и места их установки представлены в таблицах 2-5.

Таблица 2 – Выбираемые высоковольтные электродвигатели серии ДА304

Наименование	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об / мин	Напряжение, В	Вращаемый механизм
ДН 1	АД	400	1500	10000	Циркуляционный насос
ДН 2	АД	400	1500	10000	Циркуляционный насос
ДН 3	АД	400	1500	10000	Циркуляционный насос
ДВ 1	АД	630	750	10000	Вентилятор
ДВ 2	АД	630	750	10000	Вентилятор
АД 1	АД	1250	1000	10000	Аммиачный насос
АД 2	АД	400	1000	10000	Аммиачный насос
АД 1	АД	630	1500	10000	Газодувка
АД 1	АД	630	1000	10000	Насос
АД 2	АД	320	1500	10000	Циркуляционный насос
АД 3	АД	630	1500	10000	Конденсатный насос
АД 6	АД	295	750	10000	Вентилятор
АД 7	АД	295	750	10000	Вентилятор
АД 2	АД	320	1500	10000	Конденсатный насос
АД 3	АД	320	1000	10000	Дымосос
АД 4	АД	320	1000	10000	Дымосос
АД 5	АД	320	1000	10000	Дымосос
АД 6	АД	295	750	10000	Вентилятор
АД 1	АД	630	750	10000	Вентилятор
ДВ 1	АД	210	1500	10000	Агрегатный насос
ДВ 2	АД	250	1000	10000	Вентилятор
ДВ 3	АД	210	1500	10000	Агрегатный насос

Таблица 3 – Выбираемые высоковольтные электродвигатели серии ДСВ

Наименование	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об / мин	Напряжение, В	Вращаемый механизм
СД 1	СД	1000	3000	10000	Компрессор
СД 2	СД	1000	600	10000	Циркуляционный насос

Таблица 4 – Выбираемые высоковольтные электродвигатели серии СТД

Наименование	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об / мин	Напряжение, В	Вращаемый механизм
СД 3	СД	1250	3000	10000	Газодувка
СД 4	СД	1250	3000	10000	Газодувка

Таблица 5 – Выбираемые высоковольтные электродвигатели производства Siemens

Наименование	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об / мин	Напряжение, В	Вращаемый механизм
АД 5	АД	630	750	10000	Вентилятор
ТК 1	АД	1600	1500	10000	Газодувка
ТК 2	АД	1600	1500	10000	Газодувка

Выводы по разделу. Для системы электрооборудования, и электрохозяйства выбраны электродвигатели марок ДА304, ДА30, СТД, ДСВ, Siemens на напряжение 10 кВ.

## 4 Выбор распределительных трансформаторов

Распределительные трансформаторы являются источниками питания для цеховых ЭП напряжением 0,4 кВ. Выбор трансформаторов проводится по следующим параметрам [7]:

- мощности,
- напряжению,
- исполнению и т.д.

При выборе распределительных трансформаторов предполагается отдавать предпочтение сухим распределительным трансформаторам с литой изоляцией типа ТСЛ производства АО «Группа СВЭЛ». Предполагается установка сухих трансформаторов с литой изоляцией в местах с высоким классом по пожароопасности. Применение сухих трансформаторов с литой изоляцией позволяет значительно снизить риск возникновения пожара, а также позволяет снизить эксплуатационные затраты.

Для выбора трансформаторов ТП необходимо по расчетным нагрузкам с учетом коэффициента перегрузки и  $\cos\varphi$  определить необходимую мощность трансформатора.

Необходимая мощность трансформатора определяется выражением (11):

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{P_p}{k_{\text{пер}} \cdot (n-1) \cdot \cos\varphi} \quad (11)$$

где  $P_p$  – расчетная активная мощность на шинах цеховой ТП, кВт;

$k_{\text{пер}}$  – перегрузочная способность трансформатора;

$n$  – число трансформаторов.

Определяется необходимая мощность трансформатора ТП-67 по выражению (11):

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{744,2}{1,4 \cdot (2 - 1) \cdot 0,85} = 525,3 \text{ кВА}$$

К установке принимаются 2 трансформатора типа ТСЗ номинальной мощностью 630 кВА каждый

Нужно определить потери активной и реактивной мощностей в выбранных трансформаторах по выражениям (12) и (13):

$$\Delta P_{\text{T}} = N_{\text{T}} \cdot (\Delta P_{\text{ХХ}} + K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}}) \quad (12)$$

где  $N_{\text{T}}$  – число трансформаторов;

$\Delta P_{\text{ХХ}}$  – активные потери холостого хода, кВт;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$\Delta P_{\text{КЗ}}$  – активные потери короткого замыкания, кВт.

$$\Delta Q_{\text{T}} = N_{\text{T}} \cdot (I_0 + K_3^2 \cdot U_{\text{КЗ}}) \cdot \frac{S_{\text{T}}}{100} \quad (13)$$

где  $I_0$  – ток холостого хода трансформатора, %;

$U_{\text{КЗ}}$  – напряжение короткого замыкания, %.

$S_{\text{T}}$  – полная мощность трансформатора, кВА.

Определяются потери активной и реактивной мощности в трансформаторах по выражениям (12) и (13):

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{T}} &= 2 \cdot (1,15 + 0,7^2 \cdot 6,8) = 6,96 \text{ кВт} \\ \Delta Q_{\text{T}} &= 2 \cdot (0,8 + 0,7^2 \cdot 6,8) \cdot \frac{630}{100} = 44,0 \text{ квар} \end{aligned}$$

Выбранные силовые трансформаторы приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Выбранные трансформаторы

Наименование	$\cos\varphi$	Расчетная нагрузка			Потери		Тип трансформаторов, кВА
		кВт	квар	кВА	кВт	квар	
ТП-67	0,85	744,2	461,41	875,6	6,96	44,0	ТСЛ 630/10
ТП-68	0,86	1168,88	461,41	1256,65	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-62	0,87	1100,36	627,20	1266,55	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-63	0,85	1088,22	674,6964	1280,40	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-64	0,89	1155,74	589,4274	1297,36	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-61	0,87	1187,29	676,7553	1366,61	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-81	0,87	186,76	106,4532	214,96	3,26	69,86	ТСЛ 160/10
ТП-82	0,85	705,55	437,441	830,15	6,96	44,0	ТСЛ 630/10
ТП-52	0,85	1198,3	742,946	1409,92	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-53	0,85	1146,56	710,8672	1349,04	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-57	0,89	1097,22	559,5822	1097,22	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-71	0,87	1137,81	648,5517	1309,66	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-72	0,85	1121,64	695,4168	1121,64	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-14	0,85	1110,9	688,758	1307,08	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-47	0,86	1101,3	649,767	1278,70	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-17	0,85	1189,36	737,4032	1399,40	8,56	69,86	ТСЛ 1000/10
ТП-11	0,85	1771,23	1098,163	2084,03	17,05	110,08	ТСЛ 1600/10
ТП-8	0,87	1445,36	823,8552	1663,66	14,70	88,5	ТСЛ 1250/10
ТП-5	0,89	719,36	366,8736	807,57	8,96	44,0	ТСЛ-630/10
ТП-7	0,86	732,98	432,4582	924,24	8,96	44,0	ТСЛ-630/10
ТП-33	0,87	1078,98	615,0186	1241,94	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10

«В дипломном проектировании экономически выгодную величину перетока реактивной мощности  $Q_{\text{э}}$  рассчитывается по формуле, где нормируемый  $tg\varphi_{\text{н}}$  задан энергосистемой» [8].:

$$Q_{\text{э}} = P_{\text{р}} \cdot tg\varphi_{\text{н}} \quad (14)$$

где по условиям задания нормируемый  $tg\varphi_{\text{н}} = 0,2$ .

Мощность компенсирующих устройств, которые необходимо установить на предприятии, рассчитываем по формуле:

$$Q_{КУ} = Q_{ТП} - Q_{Э} \quad (15)$$

«Подбор конденсаторных батарей по цехам производим по ближайшему значению из доступных на рынке батарей» [9].

для сварочного цеха

$$Q_{Э} = 2070 \cdot 0,17 = 351,9 \text{ квар}$$

$$Q_{КУ} = 2421,9 - 351,9 = 2070 \text{ квар}$$

для цеха стального литья

$$Q_{Э} = 960 \cdot 0,17 = 163,2 \text{ квар}$$

$$Q_{КУ} = 1123,2 - 163,2 = 960 \text{ квар}$$

для сборочного цеха

$$Q_{Э} = 1440 \cdot 0,17 = 244,8 \text{ квар}$$

$$Q_{КУ} = 1684,8 - 244,8 = 1440 \text{ квар}$$

для прессового цеха

$$Q_{Э} = 1260 \cdot 0,17 = 214,2 \text{ квар}$$

$$Q_{КУ} = 1474,2 - 214,2 = 1260 \text{ квар}$$

для компрессорной

$$Q_{Э} = 150 \cdot 0,17 = 25,5 \text{ квар}$$

$$Q_{КУ} = 84 - 25,5 = 58,5 \text{ квар}$$

для электроцеха

$$Q_{Э} = 540 \cdot 0,17 = 91,8 \text{ квар}$$

$$Q_{КУ} = 718,2 - 91,8 = 626,4 \text{ квар}$$

для термического цеха

$$Q_{Э} = 1750 \cdot 0,17 = 297,5 \text{ квар}$$

$$Q_{КУ} = 1750 - 297,5 = 1452,5 \text{ квар}$$

для котельной

$$Q_{Э} = 187,5 \cdot 0,17 = 31,875 \text{ квар}$$



$$Q_{\text{КУ}} = 105 - 31,875 = 73,125 \text{ квар}$$

для насосной

$$Q_{\text{Э}} = 90 \cdot 0,17 = 15,3 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{КУ}} = 50,4 - 15,3 = 35,1 \text{ квар}$$

для автоматного-токарного цеха

$$Q_{\text{Э}} = 2025 \cdot 0,17 = 344,25 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{КУ}} = 2369,25 - 344,25 = 2025 \text{ квар}$$

для столярного цеха

$$Q_{\text{Э}} = 1140 \cdot 0,17 = 193,8 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{КУ}} = 1202,64 - 193,8 = 1008,84 \text{ квар}$$

для цеха цветного литья

$$Q_{\text{Э}} = 1380 \cdot 0,17 = 234,6 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{КУ}} = 1614,6 - 234,6 = 1380 \text{ квар}$$

Выбранные батареи конденсаторов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбранные батареи конденсаторов

Наименование цеха	Модель конденсаторной батареи
Сварочный цех	УКМ 58-0,4-600-50 У3
Цех стального литья	УКМ 58-0,4-300-50 У3
Сборочный цех	УКМ 58-0,4-450-50 У3
Прессовый	УКМ 58-0,4-450-50 У3
Электроцех	УКМ 58-0,4-300-50 У3
Термический	УКМ 58-0,4-450-50 У3
Автоматно-токарный	УКМ 58-0,4-600-50 У3
Столярный	УКМ 58-0,4-300-50 У3
Цех цветного литья	УКМ 58-0,4-450-50 У3
Компрессорная	УКМ 58-0,4-20-50 У3
Котельная	УКМ 58-0,4-20-50 У3
Насосная	УКМ 58-0,4-20-25 У3

Мощность, передаваемая через трансформаторы ГПП рассчитывается по формуле:

$$S_{ГПП} = \frac{\sqrt{(20441,7 + 2 \cdot 24087,5)^2 + (93,2 + 2 \cdot 497)^2}}{1000} = 18421$$

На предприятии имеются потребители I категории, поэтому устанавливаем два трансформатора на подстанцию.

Определяем мощность одного трансформатора при загрузке  $K_3 = 0,7$  по формуле:

$$S_{TP} = \frac{S_{ГПП}}{K_3 \cdot N_{TP}} = \frac{18,42}{0,7 \cdot 2} = 13,16, \text{ МВА}$$

Выбираем трехфазный трансформатор с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла, с регулировкой напряжения под нагрузкой (РПН), модели ТДН-16000/110/10 и производим проверку на эксплуатационную перегрузку [10–15].

Выводы по разделу. В данном разделе выпускной квалификационной работы выбраны цеховые трансформаторы, компенсирующие устройства, и трансформаторы главной понизительной подстанции.

## 5 Выбор кабелей

Выбор сечения кабелей производится в соответствии с требованиями [16-19], а именно по длительно допустимому току.

Необходимо привести пример выбора кабеля от РП-61 до ТП-64 по длительно допустимому току.

Вначале определяем расчетный номинальный ток кабельной линии по выражению (14):

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{K_{\text{И}} \cdot P_{\text{Н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\phi} \quad (16)$$

Определяется расчетный номинальный ток по выражению (14):

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{1155,74}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,89} = 71,4 \text{ А}$$

Теперь необходимо согласно таблице 1.3.7 содержащейся в [20] выбрать нужное сечение по расчетному току с учетом способа прокладки.

Для получившегося расчетного тока подходит сечение 25 мм<sup>2</sup>, с учетом того, что кабельная линия прокладывается на технологической эстакаде (т.е. в воздухе) и жилы кабеля выполнены из алюминия.

К монтажу принимаются кабели российского производства компании ОАО «Севкабель». Результаты выбора сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбранные кабели

Фидер	Марка и сечение КЛ, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина, м
ТП 67	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	10
ДН 1	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	25
ДН 2	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	25
ДН 3	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	25
ТП 61	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	10
ТП 61	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	10
ТП-62	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	12
ТП-63	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	12
ТП-64	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	25
ТП-68	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	29
АД-1250	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	13
АД-400	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	15
АД-630	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	28
ТП-81	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	55
ТП-82	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	40
АД-630	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	22
АД-320	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	22
АД-320	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	22
АД-340	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	40
АД-295	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	20
СД-1250	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	15
СД-1250	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	15
СД-1250	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	15
СД-1250	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	15
АД-320	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	10
АД-320	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	10
АД-295	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	10
АД-295	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	10

Продолжение таблицы 8

Фидер	Марка и сечение КЛ, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина, м
ТП-13	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	10
ТП-13	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	10
СД-1000	АСБГ 3x16(ож)-10	Под полом	12
СД-1000	АСБГ 3x16(ож)-10	Под полом	12
СД-1000	АСБГ 3x16(ож)-10	Под полом	24
СД-1000	АСБГ 3x16(ож)-10	Под полом	24
АД-210	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	32
АД-250	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	32
АД-250	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	32
АД-630	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	26
АД-630	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	26
АД-630	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	26
ТП-7	АСБГ 3x25(ож)-10	Эстакада	18
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3x35(ож)-10	Галерея	21

Выводы по разделу. В данном разделе выпускной квалификационной работы выбраны трехжильные кабели марки АСБГ.

## 6 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ необходим для выбора и проверки электрооборудования системы электроснабжения аммиачного производства. Расчет токов КЗ ведется в именованных единицах согласно [21-23]. Перед расчетом составляется расчетная схема и схема замещения. На расчетной схеме необходимо выбрать расчетные точки КЗ, которые будут оптимальным образом отражать уровни токов КЗ от энергосистемы и позволят поверить выбранное оборудование на стойкость к ТКЗ.

Вначале составляется расчетная схема и схема замещения для расчета токов КЗ на шинах РП-1 рисунки 2 и 3.

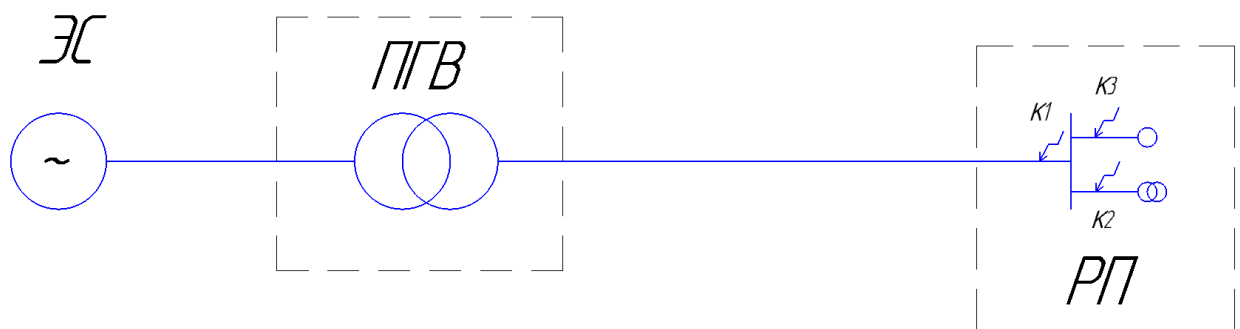


Рисунок 2 – Расчетная схема ТКЗ

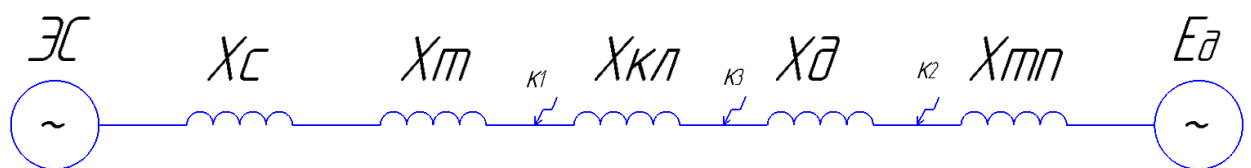


Рисунок 3 – Схема замещения для расчета ТКЗ

Сначала нужно определить индуктивное сопротивление энергосистемы (15):

$$x_c = \frac{U_{\text{НОМВН}}^2}{S_{\text{к}}^{(3)}} \quad (17)$$

где  $U_{\text{НОМВН}}$  – номинальное напряжение линии от которой идет питание, кВ;

$S_{\text{к}}^{(3)}$  – мощность трехфазного короткого замыкания, МВА.

Определяется сопротивление энергосистемы по выражению (15):

$$x_{\text{с}} = \frac{(10,5 \cdot 10^3)^2}{2500 \cdot 10^6} = 0,041 \text{ Ом}$$

Далее определяется индуктивное сопротивление трансформатора на ПГВ по выражению (16):

$$x_{\text{т}} = \frac{u_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМВН}}^2}{S_{\text{т}}} \quad (18)$$

Определяется индуктивное сопротивление трансформатора ПГВ по выражению (16):

$$x_{\text{т}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{10,5 \cdot 10^3}{63000 \cdot 10^3} = 0,183 \text{ Ом}$$

Нужно определить индуктивное сопротивление КЛ по выражению (17):

$$x_{\text{КЛ}} = x_{\text{уд}} \cdot l \quad (19)$$

где  $x_{\text{уд}}$  – погонное индуктивное сопротивление, Ом/км.

Определяем индуктивное сопротивление КЛ по выражению (17):

$$x_{\text{КЛ}} = 0,075 \cdot 0,225 = 0,01 \text{ Ом}$$

Теперь нужно определить сверхпереходное индуктивное сопротивление асинхронного двигателя по следующему выражению (18):

$$x''_{AD} = \frac{1}{K_{\Pi}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2 \cdot \cos\varphi \cdot \eta}{P_{\text{НОМ}}} \quad (20)$$

где  $K_{\Pi}$  – кратность пускового момента;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение двигателя, кВ

$\eta$  – коэффициент полезного действия, %;

$P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность асинхронного двигателя, МВт.

Определяется индуктивное сверхпереходное сопротивление асинхронного двигателя по выражению (18)

$$x''_{AD} = \frac{1}{5,8} \cdot \frac{10,5^2 \cdot 0,89 \cdot 0,93}{0,32} = 49,1 \text{ Ом}$$

Далее нужно определить суммарное индуктивное сопротивление в точке КЗ по следующему выражению (19):

$$x_{\Sigma} = x_c + x_T + x_{KL} \quad (21)$$

Определяется суммарное индуктивное сопротивление в точке КЗ по выражению (19):

$$x_{\Sigma} = 0,041 + 0,183 + 0,01 = 0,234 \text{ Ом}$$

Нужно определить ток КЗ от энергосистемы по выражению (20):

$$I_c = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}} \quad (22)$$

где  $I_c$  – ток КЗ от энергосистемы, кА.

Определяется ток КЗ от энергосистемы по выражению (20):



$$I_c = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,234} = 25,9 \text{ кА}$$

Далее нужно определить токи подпитки от синхронных и асинхронных двигателей по выражению (21):

$$I_{\text{пАД(СД)}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{x'' + x_{\text{кЛ}}} \quad (23)$$

Определяем токи подпитки от синхронных и асинхронных двигателей по выражению (21):

$$I_{\text{пАД}} = \frac{10500}{49,1 + 0,05} = 0,213 \text{ кА},$$

$$I_{\text{пСД}} = \frac{10500}{33 + 0,05} = 0,317 \text{ кА}$$

Теперь нужно определить суммарный ток КЗ по выражению (22):

$$I_{\Sigma} = I_c + I_{\text{пАД}} + I_{\text{пСД}} \quad (24)$$

Определяется суммарный ток КЗ по выражению (22):

$$I_{\Sigma} = 25,9 + 0,213 + 0,317 = 26,4 \text{ кА}$$

Теперь нужно определить ток однофазного КЗ на землю по выражению (23):

$$I_3^{(1)} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{Н}} \cdot \frac{l}{N_{\text{кЛ}}} \quad (25)$$

где  $N_{\text{кЛ}}$  – погонная емкость между жилами кабеля и экраном, ф/км.

Выводы по разделу. В данном разделе выпускной квалификационной работы рассчитаны токи короткого замыкания для дальнейшей проверки выбранных аппаратов.

## 7 Выбор электрических аппаратов ремонтно-механического завода

Выбор электрических аппаратов производится в соответствии с требованиями [24].

«Выключатели выбираются по следующим критериям:

- По классу напряжения;
- По номинальному току;
- По электродинамической стойкости;
- По отключающей способности на возможность отключения полного

симметричного тока» [24].

Проведем выбор выключателей устанавливаемых в РП-67. Для выбора выключателей необходимо рассчитать тепловой импульс от тока КЗ и полный симметричный ток. Данные параметры рассчитываются при номинальных условиях и при расчетных по следующим выражениям (24), (25):

$$i_p = \sqrt{2} \cdot I_{птр} + i_a \quad (26)$$

где,  $I_{птр}$  – расчетное значение периодической составляющей, кА;

$i_a$  – аperiodическая составляющая тока КЗ, кА.

$$B_{кр} = I_{птр}^2 \cdot \tau \quad (27)$$

где  $\tau$  - время срабатывания защиты, с.

Определяется полный расчетный ток КЗ по выражению (24):

$$i_p = \sqrt{2} \cdot 22,7 + 213 = 32,0 \text{ кА}$$

Определяется расчетный тепловой импульс от тока КЗ по выражению (25):

$$B_{кр} = 22,7^2 \cdot 0,07 = 25 \cdot 10^6 \text{ A}^2/\text{с}$$

К установке приняты выключатели производства ЗАО «Электроцит-Самара». Выбранные выключатели приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Выбранные выключатели на отходящих присоединениях

Тип	U <sub>ном</sub> , кВ	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>откл</sub> , кА	I <sub>птном</sub> , кА	I <sub>птрасч</sub> , кА	B <sub>кном</sub> , А <sup>2</sup> /с	B <sub>красч</sub> , А <sup>2</sup> /с	i <sub>аном</sub> , кА	i <sub>арасч</sub> , кА
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,49	28·10 <sup>6</sup>	16807	42300	0,73
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 <sup>6</sup>	16807	42300	0,7
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 <sup>6</sup>	16807	42300	0,7
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 <sup>6</sup>	16807	42300	0,7
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42588	42300	1,1
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42588	42300	1,1
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42588	42300	1,1
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42588	42300	1139
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42588	42300	1,1
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,77	28·10 <sup>6</sup>	41503	42300	1,1
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	40	40	0,55	28·10 <sup>6</sup>	16807	42300	0,7
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,12	28·10 <sup>6</sup>	1008	42300	0,1
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,49	28·10 <sup>6</sup>	16807	42300	0,7
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,3	28·10 <sup>6</sup>	4,5·10 <sup>3</sup>	42300	0,42
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	30	30	23,3	45·10 <sup>6</sup>	27·10 <sup>6</sup>	32,8	59,2
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	30	30	21,6	45·10 <sup>6</sup>	23·10 <sup>6</sup>	30,4	59,2
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	30	30	22,7	45·10 <sup>6</sup>	25·10 <sup>6</sup>	59,2	32,0
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЦ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1

Продолжение таблицы 9

Тип	U <sub>ном</sub> , кВ	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>откл</sub> , кА	I <sub>птном</sub> , кА	I <sub>птрасч</sub> , кА	B <sub>кном</sub> , А <sup>2</sup> /с	B <sub>красч</sub> , А <sup>2</sup> /с	i <sub>аном</sub> , кА	i <sub>арасч</sub> , кА
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,79	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,79	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>	42,3	0,28
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>	42,3	0,28
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,19	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>	42,3	0,28
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,3	28·10 <sup>6</sup>	4,5·10 <sup>3</sup>	42,3	0,42
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,79	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>	42,3	0,28
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,19	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>	42,3	0,28
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	40	40	0,55	28·10 <sup>6</sup>	16·10 <sup>3</sup>	42,3	0,7
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	1,23	28·10 <sup>6</sup>	75·10 <sup>3</sup>	42,3	1,73
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,97	28·10 <sup>6</sup>	47·10 <sup>3</sup>	42,3	1,36
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 <sup>6</sup>	17·10 <sup>6</sup>	42,3	0,73
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 <sup>6</sup>	17·10 <sup>6</sup>	42,3	0,73
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,3	28·10 <sup>6</sup>	4,5·10 <sup>3</sup>	42,3	0,42
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	30	30	24,8	45·10 <sup>6</sup>	31·10 <sup>6</sup>	34,8	59,2
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	30	30	26,4	45·10 <sup>6</sup>	34·10 <sup>6</sup>	37,2	59,2
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	2000	30	30	24,7	45·10 <sup>6</sup>	30·10 <sup>6</sup>	34,8	59,2
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,6	28·10 <sup>6</sup>	18·10 <sup>3</sup>	42,3	0,84

Продолжение таблицы 9

Тип	U <sub>ном</sub> , кВ	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>откл</sub> , кА	I <sub>птном</sub> , кА	I <sub>птрасч</sub> , кА	В <sub>кном</sub> , А <sup>2</sup> /с	В <sub>красч</sub> , А <sup>2</sup> /с	i <sub>аном</sub> , кА	i <sub>арасч</sub> , кА
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,8	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,55	28·10 <sup>6</sup>	16·10 <sup>3</sup>	42,3	0,7
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,19	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>	42,3	0,28
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,19	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>	42,3	0,28
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,3	28·10 <sup>6</sup>	4,5·10 <sup>3</sup>	42,3	0,42
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,8	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,8	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,6	28·10 <sup>6</sup>	18·10 <sup>3</sup>	42,3	0,84
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>	42,3	0,28
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,79	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,6	28·10 <sup>6</sup>	18·10 <sup>3</sup>	42,3	0,84
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	30	30	27,8	45·10 <sup>6</sup>	39·10 <sup>6</sup>	39,1	59,2
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	30	30	27,3	45·10 <sup>6</sup>	37·10 <sup>6</sup>	38,4	59,2
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	30	30	27,3	45·10 <sup>6</sup>	37·10 <sup>6</sup>	38,4	59,2
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,77	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1
ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,77	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>	42,3	1,1

«Трансформаторы тока вбираются по следующим условиям:

- По номинальному напряжению;
- Номинальному току;
- Электродинамической стойкости;
- Термической стойкости;

– Конструкции и классу точности» [25].

Определяется расчетный тепловой импульс от действия тока КЗ для трансформатора тока установленного в РП-61 на присоединении ТП-62 по выражению (25):

$$B_{кр} = 780^2 \cdot 0,07 = 42188 \text{ A}^2/\text{с}$$

Выбранные трансформаторы тока приведены в таблице 10

Таблица 10 – Трансформаторы тока на ячейках присоединений

Тип	U <sub>ном</sub> , кВ	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>откл</sub> , кА	I <sub>птном</sub> , кА	I <sub>птрасч</sub> , кА	B <sub>кном</sub> , А <sup>2</sup> /с	B <sub>красч</sub> , А <sup>2</sup> /с
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,49	16·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,5	16·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,5	16·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,5	16·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,78	42·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,78	42·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,78	42·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,78	42·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,78	42·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,12	16·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,49	41·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	0,3	20·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	28·10 <sup>6</sup>	23,3	27·10 <sup>6</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	28·10 <sup>6</sup>	21,6	23·10 <sup>6</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 <sup>6</sup>	22,7	25·10 <sup>6</sup>

Продолжение таблицы 10

Тип	$U_{\text{ном}}$ , кВ	$I_{\text{ном}}$ , А	$I_{\text{откл}}$ , кА	$I_{\text{пгном}}$ , кА	$I_{\text{птрасч}}$ , кА	$B_{\text{кном}}$ , А <sup>2</sup> /с	$B_{\text{красч}}$ , А <sup>2</sup> /с
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	$28 \cdot 10^6$	0,78	$42 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,78	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,79	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,79	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,78	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,78	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,2	$28 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,2	$28 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,19	$28 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,3	$28 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,79	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,2	$28 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,19	$28 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	40	0,55	$28 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,97	$28 \cdot 10^6$	$47 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,5	$28 \cdot 10^6$	$17 \cdot 10^6$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,5	$28 \cdot 10^6$	$17 \cdot 10^6$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,3	$28 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^3$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	24,8	$45 \cdot 10^6$	$31 \cdot 10^6$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	26,4	$45 \cdot 10^6$	$34 \cdot 10^6$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	24,7	$45 \cdot 10^6$	$30 \cdot 10^6$
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,6	$28 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^3$

Продолжение таблицы 10

Тип	U <sub>ном</sub> , кВ	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>откл</sub> , кА	I <sub>птном</sub> , кА	I <sub>птрасч</sub> , кА	В <sub>кном</sub> , А <sup>2</sup> /с	В <sub>красч</sub> , А <sup>2</sup> /с
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,55	28·10 <sup>6</sup>	16807
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,19	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,19	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,3	28·10 <sup>6</sup>	4,5·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,8	28·10 <sup>6</sup>	42588
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,8	28·10 <sup>6</sup>	42588
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,6	28·10 <sup>6</sup>	18·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,2	28·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,79	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,6	28·10 <sup>6</sup>	18·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	27,8	45·10 <sup>6</sup>	39·10 <sup>6</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	27,3	45·10 <sup>6</sup>	37·10 <sup>6</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	27,3	45·10 <sup>6</sup>	37·10 <sup>6</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,78	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,77	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>
ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,77	28·10 <sup>6</sup>	42·10 <sup>3</sup>

Для выбора трансформаторов напряжения необходимо определить номинальную и расчетные мощности подключённых к ТН приборов по выражению (26):

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} \quad (28)$$



где  $P_{\text{приб}}$  – активная мощность потребляемая приборами, Вт;

$Q_{\text{приб}}$  – реактивная мощность потребляемая приборами, вар.

Определяется суммарная мощность приборов подключаемых ко вторичной обмотке ТН по выражению (26):

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{6,52^2 + 3,7^2} = 7,49 \text{ ВА}$$

В таблице 11 приведены характеристики трансформаторов напряжения устанавливаемых на РП.

Таблица 11 – Трансформаторы напряжения на РП

РП	Тип	U <sub>ном</sub> , кВ	S <sub>2Σном</sub> , ВА	S <sub>2Σ расч</sub> , ВА
1	НАЛИ СЭЦ 10	10,5	800	7,49
2		10,5	800	7,5
3		10,5	800	8,0

Выводы по разделу. В данном разделе выпускной квалификационной работы выбраны вакуумные выключатели типа ВВУ-СЭЦ-10 производства ЗАО «Электроцит-Самара». В качестве трансформаторов тока и напряжения выбраны трансформаторы тока типа ТОЛ-СЭЦ-10 и трансформаторы напряжения типа НАЛИ-10.

## Заключение

Выполнен проект электроснабжения ремонтно-механического завода.

На первом этапе выполнен расчет электрических нагрузок по производству.

Полученные результаты расчета электрических нагрузок использованы для выбора распределительных трансформаторов, сечения жил кабельных линий системы электрооборудования и электрохозяйства ремонтно-механического завода.

В работе предложено выбрать сухие трансформаторы марок ТСЗ-160, ТСЗ-630, ТСЗ-1000, ТСЗ-1250, ТСЗ-1600 производства ОАО «Группа СВЭЛ». Преимуществами установки таких трансформаторов является пожаробезопасность, простота монтажа и эксплуатации.

В качестве компенсирующих устройств приняты установки компенсации реактивной мощности серии УКН 58

В работе выполнен выбор высоковольтных электродвигателей для замены существующих. В качестве замены выбраны электродвигатели марок ДАЗ04, ДАЗ0, СТД, ДСВ.

На втором этапе по расчетным электрическим нагрузкам проведен выбор сечения и марки кабелей. В работе предложено выбрать к применению кабели типа АСБГ и АПвБВнг. Преимуществом данных кабелей является улучшенные характеристики изоляции, в том числе применение сшитого полиэтилена.

На третьем этапе выполнен расчет токов трехфазного короткого замыкания и токов однофазного короткого замыкания на землю. Полученные в расчете данные использованы для выбора электрических аппаратов, таких как выключатели и измерительные трансформаторы а так же для расчета заземления. В работе предложено выбрать вакуумные выключатели типа ВВУ-СЭЩ-10 производства ЗАО «Электрощит-Самара». Преимуществом

вакуумных выключателей является пожаробезопасность, простота обслуживания и монтажа.

В качестве трансформаторов тока и напряжения предложено применить трансформаторы тока типа ТОЛ-СЭЩ-10 и трансформаторы напряжения типа НАЛИ-10.

При проектировании системы электрооборудования и электрохозяйства использовались современные и актуальные нормы проектирования и руководящие документы, перечень которых представлен в списке использованных источников с п.1 по 6.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы спроектирована система электрооборудования и электрохозяйства отвечающая требованиям надежности и качества электроснабжения.

## Список используемых источников

1. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1992. 9 с.
2. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2016. – 464 с.
3. РД 153.34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М: ОАО РАО ЕЭС России, 1998. 131 с.
4. РТМ 36.18.32.6-92 Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1993. 32 с.
5. Нормы технологического проектирования электроснабжения промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1994. 70 с.
6. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М: Издательство Аст, 2016. 262 с.
7. ГОСТ-52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1000 В. М: Стандартинформ, 2007. 54 с.
8. ГОСТ Р-55025-2012 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия. М: Стандартинформ, 2012. 35 с.
9. Степкина, Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб. метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования. Тольятти: ТГУ, 2007. 124 с.
10. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования. Тольятти; ТГУ 2007. 54 с.

11. Асинхронные двигатели. Самара: СГТУ, 2008. 142 с.
12. Макаричев Ю.А., Овсянников В.Н. Синхронные машины. Самара: СГТУ, 2010. 156 с.
13. В.И. Готман Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Томск: ТПУ, 2013. 120 с.
14. Киреева Э.А. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебное пособие. М: Кнорус, 2017. 368 с.
15. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М: Интернет Инжиниринг, 2006. 672 с.
16. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. Силовые трансформаторы: справочная книга. М: ГУП ВЭИ, 2004. 616 с.
17. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учебное пособие. М: Инфра-М, 2013. 271 с.
18. Годжелло А.Г., Ю.К. Розанов Электрические и электронные аппараты. М: Издательский центр Академия, 2010. 352 с.
19. Панова А.В. Экономика энергетики: учебное пособие. Владимир: ВлГУ, 2013. 87 с.
20. Анфилофьев Б.А., Скачкова Е.А. Электробезопасность. Расчет защитного заземления. Самара: СамИИТ, 2002. 18 с.
21. Zakhidov R. An Approach to the Creation of the Adaptive Control System for Integration of Nonsteady Power Sources into a Common Electric Power Grid // Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management. 2016. №1 P. 563-574.
22. W.H. Tang, Q.H. Wu Condition monitoring and assessment of power transformers using computational intelligence. Liverpool: The University of Liverpool, 2011. 194 p.
23. Riley J. System relay protection. // Competition and choice in electricity – Seattle, 2016. p. 211-220.

24. Shaohua C., Ma Biyan A comprehensive and quantitative calculation of the reliability of relay protection systems // Competition and choice in electricity – Seattle, 2016. p. 101-115.

25. Jensen C. F. Online Location of Faults on AC Cables in Underground Transmission Systems. Alborg: Department of Energy Technology, 2014. p. 221.