

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 механического завода

Обучающийся

И.В. Завгородний

(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 механического завода.

Проведены расчеты электрических нагрузок, произведен выбор высоковольтных двигателей, распределительных трансформаторов, кабелей, электрических аппаратов, выполнены расчеты токов короткого замыкания, заземления. Для обоснования эффективности выбора системы электроснабжения на напряжение 10 кВ выполнен расчет технико-экономической эффективности.

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 59 страницах. Пояснительная записка также содержит 8 таблиц, 2 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 механического завода.....	6
3 Выбор высоковольтных электродвигателей	27
4 Выбор распределительных трансформаторов механического завода.....	32
5 Выбор кабелей и способа прокладки	35
6 Расчет токов короткого замыкания	39
7 Выбор электрических аппаратов механического завода	44
Заключение	55
Список используемых источников.....	57

Введение

В выпускной квалификационной работе (ВКР) поставлена задача разработки проекта системы электрооборудования и электрохозяйства механического завода.

При проектировании следует учитывать следующее:

- использование класса напряжения системы электроснабжения 10 кВ;
- применение сухих распределительных трансформаторов;
- применения вакуумных выключателей;
- применения комплектных ТП и РП.

Целью выпускной квалификационной работы является выполнение проекта системы электрооборудования и электрохозяйства 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;
- выполнить расчет заземления;
- провести выбор выключателей, отдавая предпочтение вакуумным выключателям, выбор измерительных трансформаторов, отдавая предпочтение трансформаторам с литой изоляцией.

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

1 Краткая характеристика объекта проектирования

Объектом проектирования является система электроснабжения механического завода.

Рассматриваемый машиностроительный завод занимается выпуском такой продукции как: головки поршней, пальцы, коленчатые валы, шатуны, и другую аналогичную продукцию. Завод включает в себя следующие цеха:

- цех металлозаковки;
- сварочный цех;
- цех металлообработки;
- механосборочный цех
- вспомогательные цеха (ремонтно-механический, электроснабжения, теплосиловой)

Механический завод относится к энергоемким потребителям, большинство электроприемников относятся первой и второй категориям по надежности электроснабжения [2].

Выводы по разделу. В разделе дана общая информация об объекте проектирования.

2 Расчет электрических нагрузок механического завода

Расчетные нагрузки являются исходными данными для проектирования. Расчет нагрузок ведется согласно РТМ 36.18.32.4-92 разработанным институтом «Тяжпромэлектропроект» [3].

В качестве примера приведем расчет электрических нагрузок распределительного пункта 5 (РП-5).

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

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

где P – установленная активная мощность группы ЭП, кВт;

n – число ЭП в группе;

p_n – установленная мощность одного ЭП в группе, кВт.

Определим установленную мощность группы высоковольтных асинхронных электродвигателей (АД) подключенных к сборным шинам РП-5 по выражению (1):

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

Затем определяется среднесменная активная нагрузка группы высоковольтных АД по формуле (2):

$$P_c = K_{и} \cdot P \quad (2)$$

где P_c – среднесменная нагрузка, кВт;

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

Среднесменная активная нагрузка группы высоковольтных АД для РП-5 по выражению (2):

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

Теперь необходимо определить среднесменную реактивную нагрузку рассматриваемых АД по формуле (3):

$$Q_c = P_c \cdot K_{\text{н}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (3)$$

где $\text{tg}\varphi$ – принимается равным 0,51

Среднесменная реактивная нагрузка рассматриваемых АД по выражению (3):

$$Q_c = 0,8 \cdot 1260 \cdot 0,51 = 514,08 \text{ квар}$$

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

Теперь выполним расчет электрических нагрузок в целом по РП. Сначала необходимо определить по справочным таблицам [5] коэффициент максимума. Коэффициент максимума определяется в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и числа присоединений на шинах рассматриваемого РП. Согласно данным [6] Принимаем коэффициент максимума равным 0,95.

Для определения среднесменных активной и реактивной нагрузок на шинах РП используются выражения (4) и (5):

$$\Sigma P_c = K_{\text{м}} \cdot P_c \quad (4)$$

$$\Sigma Q_c = K_{\text{м}} \cdot Q_c \quad (5)$$

где ΣP_c – активная нагрузка в целом по РП, кВт;

ΣQ_c – реактивная нагрузка в целом по РП, квар;

K_M – коэффициент максимума.

Для шин РП-5 согласно (4 и 5) определим значения среднесменных активной и реактивной нагрузок:

$$\Sigma P_c = 0,95 \cdot 4943,95 = 4696 \text{ кВт}$$

$$\Sigma Q_c = 0,95 \cdot 2802 = 2662 \text{ квар}$$

Для определения расчетной полной мощности используется выражение (6):

$$S_p = \sqrt{\Sigma P_c + \Sigma Q_c}, \quad (6)$$

где S_p – расчетная полная мощность, кВА.

Теперь определим расчетную полную мощность по выражению (6):

$$S_p = \sqrt{4696,75 + 2662,82} = 5399 \text{ ВА}$$

Определяем ток на сборных шинах РП-5 по формуле (7):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (7)$$

где I_p – расчетный ток, А;

U – напряжение на шинах рассматриваемого РП, кВ.

Определим ток на сборных шинах по выражению (7):

$$I_p = \frac{5399,08}{\sqrt{3} \cdot 6} = 520,14 \text{ А}$$

Для столярного цеха:

$$P_p = 418 \cdot 0,4 = 167,2 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 167,2 \cdot 1,17 = 195,624 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 6,084 = 66,924 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 66,924 \cdot 0,426 = 28,51 \text{ кВАр}$$

$$P_{CYM} = 167,2 + 66,924 = 234,12 \text{ кВт}$$

$$Q_{CYM} = 195,624 + 28,51 = 224,13 \text{ кВАр}$$

$$S_{CYM} = \sqrt{(234,12)^2 + (224,13)^2} = 324,11 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 324,11 = 6,48 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 324,11 = 32,41 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 167,2 + 66,924 + 6,48 = 240,61 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 195,624 + 28,51 + 32,41 = 256,55 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(240,61)^2 + (256,55)^2} = 351,72 \text{ кВА}$$

Для инструментального цеха:

$$P_p = 1824 \cdot 0,4 = 729,6 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 1842 \cdot 0,88 = 853,632 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 12,95 = 142,45 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 142,45 \cdot 0,426 = 60,68 \text{ кВАр}$$

$$P_{CYM} = 729,6 + 142,45 = 872,05 \text{ кВт}$$

$$Q_{CYM} = 853,632 + 60,68 = 914,32 \text{ кВАр}$$

$$S_{CYM} = \sqrt{(872,05)^2 + (914,32)^2} = 1263,5 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 1263,5 = 25,27 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 1263,5 = 126,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 729,6 + 142,45 + 25,27 = 897,32 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 853,632 + 60,68 + 126,35 = 1040,67 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(897,32)^2 + (1040,67)^2} = 1374,11 \text{ кВА}$$

Для склада:

$$P_P = 98 \cdot 0,3 = 29,4 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 29,4 \cdot 1,33 = 39,102 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 15,036 = 165,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 165,4 \cdot 0,426 = 70,46 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 29,4 + 165,4 = 194,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 39,102 + 70,46 = 109,56 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(194,8)^2 + (109,56)^2} = 223,49 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 223,49 = 4,47 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 223,49 = 22,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 29,4 + 165,4 + 4,47 = 199,27 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 39,102 + 70,46 + 22,35 = 131,91 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(199,27)^2 + (131,91)^2} = 238,97 \text{ кВА}$$

Для котельной:

$$P_P = 307 \cdot 0,75 = 230,25 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 230,25 \cdot 0,56 = 128,94 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 9,372 = 103,09 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 103,09 \cdot 0,426 = 43,92 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 230,25 + 103,09 = 333,34 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 128,94 + 43,92 = 172,86 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(333,34)^2 + (172,86)^2} = 375,5 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 375,5 = 7,51 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 375,5 = 37,55 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 230,25 + 103,09 + 7,51 = 340,85 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 128,94 + 43,92 + 37,55 = 210,41 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(340,85)^2 + (210,41)^2} = 400,56 \text{ кВА}$$

Для цеха металлозаговки:

$$P_P = 418 \cdot 0,4 = 167,2 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 167,2 \cdot 1,17 = 195,624 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 6,084 = 66,924 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 66,924 \cdot 0,426 = 28,51 \text{ кВАр}$$

$$P_{СУМ} = 167,2 + 66,924 = 234,12 \text{ кВт}$$

$$Q_{СУМ} = 195,624 + 28,51 = 224,13 \text{ кВАр}$$

$$S_{СУМ} = \sqrt{(234,12)^2 + (224,13)^2} = 324,11 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 324,11 = 6,48 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 324,11 = 32,41 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 167,2 + 66,924 + 6,48 = 240,61 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 195,624 + 28,51 + 32,41 = 256,55 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(240,61)^2 + (256,55)^2} = 351,72 \text{ кВА}$$

Для цеха металлообработки:

$$P_P = 1824 \cdot 0,4 = 729,6 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 1842 \cdot 0,88 = 853,632 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 12,95 = 142,45 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 142,45 \cdot 0,426 = 60,68 \text{ кВАр}$$

$$P_{СУМ} = 729,6 + 142,45 = 872,05 \text{ кВт}$$

$$Q_{СУМ} = 853,632 + 60,68 = 914,32 \text{ кВАр}$$

$$S_{СУМ} = \sqrt{(872,05)^2 + (914,32)^2} = 1263,5 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 * 1263,5 = 25,27 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 * 1263,5 = 126,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 729,6 + 142,45 + 25,27 = 897,32 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 853,632 + 60,68 + 126,35 = 1040,67 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(897,32)^2 + (1040,67)^2} = 1374,11 \text{ кВА}$$

Для склада 2:

$$P_P = 98 \cdot 0,3 = 29,4 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 29,4 \cdot 1,33 = 39,102 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 15,036 = 165,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 165,4 \cdot 0,426 = 70,46 \text{ кВАр}$$

$$P_{СУМ} = 29,4 + 165,4 = 194,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{СУМ} = 39,102 + 70,46 = 109,56 \text{ кВАр}$$

$$S_{СУМ} = \sqrt{(194,8)^2 + (109,56)^2} = 223,49 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 223,49 = 4,47 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 223,49 = 22,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 29,4 + 165,4 + 4,47 = 199,27 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 39,102 + 70,46 + 22,35 = 131,91 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(199,27)^2 + (131,91)^2} = 238,97 \text{ кВА}$$

Для компрессорной станции:

$$P_P = 307 \cdot 0,75 = 230,25 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 230,25 \cdot 0,56 = 128,94 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 9,372 = 103,09 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 103,09 \cdot 0,426 = 43,92 \text{ кВАр}$$

$$P_{СУМ} = 230,25 + 103,09 = 333,34 \text{ кВт}$$

$$Q_{СУМ} = 128,94 + 43,92 = 172,86 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(333,34)^2 + (172,86)^2} = 375,5 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 375,5 = 7,51 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 375,5 = 37,55 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 230,25 + 103,09 + 7,51 = 340,85 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 128,94 + 43,92 + 37,55 = 210,41 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(340,85)^2 + (210,41)^2} = 400,56 \text{ кВА}$$

Для сварочного цеха:

$$P_P = 418 \cdot 0,4 = 167,2 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 167,2 \cdot 1,17 = 195,624 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 6,084 = 66,924 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 66,924 \cdot 0,426 = 28,51 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 167,2 + 66,924 = 234,12 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 195,624 + 28,51 = 224,13 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(234,12)^2 + (224,13)^2} = 324,11 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 324,11 = 6,48 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 324,11 = 32,41 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 167,2 + 66,924 + 6,48 = 240,61 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 195,624 + 28,51 + 32,41 = 256,55 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(240,61)^2 + (256,55)^2} = 351,72 \text{ кВА}$$

Для механического цеха:

$$P_P = 1824 \cdot 0,4 = 729,6 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 1842 \cdot 0,88 = 853,632 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 12,95 = 142,45 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 142,45 \cdot 0,426 = 60,68 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 729,6 + 142,45 = 872,05 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 853,632 + 60,68 = 914,32 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(872,05)^2 + (914,32)^2} = 1263,5 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 1263,5 = 25,27 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 1263,5 = 126,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 729,6 + 142,45 + 25,27 = 897,32 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 853,632 + 60,68 + 126,35 = 1040,67 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(897,32)^2 + (1040,67)^2} = 1374,11 \text{ кВА}$$

Для склада 3:

$$P_P = 98 \cdot 0,3 = 29,4 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 29,4 \cdot 1,33 = 39,102 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 15,036 = 165,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 165,4 \cdot 0,426 = 70,46 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 29,4 + 165,4 = 194,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 39,102 + 70,46 = 109,56 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(194,8)^2 + (109,56)^2} = 223,49 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 223,49 = 4,47 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 223,49 = 22,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 29,4 + 165,4 + 4,47 = 199,27 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 39,102 + 70,46 + 22,35 = 131,91 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(199,27)^2 + (131,91)^2} = 238,97 \text{ кВА}$$

Для цеха электроснабжения:

$$P_P = 418 \cdot 0,4 = 167,2 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 167,2 \cdot 1,17 = 195,624 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 6,084 = 66,924 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 66,924 \cdot 0,426 = 28,51 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 167,2 + 66,924 = 234,12 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 195,624 + 28,51 = 224,13 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(234,12)^2 + (224,13)^2} = 324,11 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 324,11 = 6,48 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 324,11 = 32,41 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 167,2 + 66,924 + 6,48 = 240,61 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 195,624 + 28,51 + 32,41 = 256,55 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(240,61)^2 + (256,55)^2} = 351,72 \text{ кВА}$$

Для ремонтно-механического цеха:

$$P_P = 1824 \cdot 0,4 = 729,6 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 1842 \cdot 0,88 = 853,632 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 12,95 = 142,45 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 142,45 \cdot 0,426 = 60,68 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 729,6 + 142,45 = 872,05 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 853,632 + 60,68 = 914,32 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(872,05)^2 + (914,32)^2} = 1263,5 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 1263,5 = 25,27 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 1263,5 = 126,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 729,6 + 142,45 + 25,27 = 897,32 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 853,632 + 60,68 + 126,35 = 1040,67 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(897,32)^2 + (1040,67)^2} = 1374,11 \text{ кВА}$$

Для склада 4:

$$P_P = 98 \cdot 0,3 = 29,4 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 29,4 \cdot 1,33 = 39,102 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 15,036 = 165,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 165,4 \cdot 0,426 = 70,46 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 29,4 + 165,4 = 194,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 39,102 + 70,46 = 109,56 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(194,8)^2 + (109,56)^2} = 223,49 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 223,49 = 4,47 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 223,49 = 22,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 29,4 + 165,4 + 4,47 = 199,27 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 39,102 + 70,46 + 22,35 = 131,91 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(199,27)^2 + (131,91)^2} = 238,97 \text{ кВА}$$

Для насосной:

$$P_P = 307 \cdot 0,75 = 230,25 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 230,25 \cdot 0,56 = 128,94 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 9,372 = 103,09 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 103,09 \cdot 0,426 = 43,92 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 230,25 + 103,09 = 333,34 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 128,94 + 43,92 = 172,86 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(333,34)^2 + (172,86)^2} = 375,5 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 375,5 = 7,51 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 375,5 = 37,55 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 230,25 + 103,09 + 7,51 = 340,85 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 128,94 + 43,92 + 37,55 = 210,41 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(340,85)^2 + (210,41)^2} = 400,56 \text{ кВА}$$

Для механосборочного цеха:

$$P_p = 418 \cdot 0,4 = 167,2 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 167,2 \cdot 1,17 = 195,624 \text{ кВАр}$$

$$P_{pO} = 11 \cdot 1 \cdot 6,084 = 66,924 \text{ кВт}$$

$$Q_{pO} = 66,924 \cdot 0,426 = 28,51 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 167,2 + 66,924 = 234,12 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 195,624 + 28,51 = 224,13 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(234,12)^2 + (224,13)^2} = 324,11 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 324,11 = 6,48 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 324,11 = 32,41 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 167,2 + 66,924 + 6,48 = 240,61 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 195,624 + 28,51 + 32,41 = 256,55 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(240,61)^2 + (256,55)^2} = 351,72 \text{ кВА}$$

Для сборочного цеха:

$$P_p = 1824 \cdot 0,4 = 729,6 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 1842 \cdot 0,88 = 853,632 \text{ кВАр}$$

$$P_{pO} = 11 \cdot 1 \cdot 12,95 = 142,45 \text{ кВт}$$

$$Q_{pO} = 142,45 \cdot 0,426 = 60,68 \text{ кВАр}$$

$$P_{CUM} = 729,6 + 142,45 = 872,05 \text{ кВт}$$

$$Q_{CUM} = 853,632 + 60,68 = 914,32 \text{ кВАр}$$

$$S_{CUM} = \sqrt{(872,05)^2 + (914,32)^2} = 1263,5 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 * 1263,5 = 25,27 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 * 1263,5 = 126,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 729,6 + 142,45 + 25,27 = 897,32 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 853,632 + 60,68 + 126,35 = 1040,67 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(897,32)^2 + (1040,67)^2} = 1374,11 \text{ кВА}$$

Для столовой:

$$P_P = 98 \cdot 0,3 = 29,4 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 29,4 \cdot 1,33 = 39,102 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 15,036 = 165,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 165,4 \cdot 0,426 = 70,46 \text{ кВАр}$$

$$P_{СУМ} = 29,4 + 165,4 = 194,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{СУМ} = 39,102 + 70,46 = 109,56 \text{ кВАр}$$

$$S_{СУМ} = \sqrt{(194,8)^2 + (109,56)^2} = 223,49 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 223,49 = 4,47 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 223,49 = 22,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 29,4 + 165,4 + 4,47 = 199,27 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 39,102 + 70,46 + 22,35 = 131,91 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(199,27)^2 + (131,91)^2} = 238,97 \text{ кВА}$$

Для литейного цеха:

$$P_P = 307 \cdot 0,75 = 230,25 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 230,25 \cdot 0,56 = 128,94 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 9,372 = 103,09 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 103,09 \cdot 0,426 = 43,92 \text{ кВАр}$$

$$P_{СУМ} = 230,25 + 103,09 = 333,34 \text{ кВт}$$

$$Q_{СУМ} = 128,94 + 43,92 = 172,86 \text{ кВАр}$$

$$S_{СУМ} = \sqrt{(333,34)^2 + (172,86)^2} = 375,5 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 375,5 = 7,51 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 375,5 = 37,55 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 230,25 + 103,09 + 7,51 = 340,85 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 128,94 + 43,92 + 37,55 = 210,41 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(340,85)^2 + (210,41)^2} = 400,56 \text{ кВА}$$

Для слесарного цеха:

$$P_P = 418 \cdot 0,4 = 167,2 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 167,2 \cdot 1,17 = 195,624 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 6,084 = 66,924 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 66,924 \cdot 0,426 = 28,51 \text{ кВАр}$$

$$P_{СУМ} = 167,2 + 66,924 = 234,12 \text{ кВт}$$

$$Q_{СУМ} = 195,624 + 28,51 = 224,13 \text{ кВАр}$$

$$S_{СУМ} = \sqrt{(234,12)^2 + (224,13)^2} = 324,11 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 324,11 = 6,48 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 324,11 = 32,41 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 167,2 + 66,924 + 6,48 = 240,61 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 195,624 + 28,51 + 32,41 = 256,55 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(240,61)^2 + (256,55)^2} = 351,72 \text{ кВА}$$

Для электроцеха:

$$P_P = 1824 \cdot 0,4 = 729,6 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 1842 \cdot 0,88 = 853,632 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 12,95 = 142,45 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 142,45 \cdot 0,426 = 60,68 \text{ кВАр}$$

$$P_{СУМ} = 729,6 + 142,45 = 872,05 \text{ кВт}$$

$$Q_{СУМ} = 853,632 + 60,68 = 914,32 \text{ кВАр}$$

$$S_{\text{СУМ}} = \sqrt{(872,05)^2 + (914,32)^2} = 1263,5 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 1263,5 = 25,27 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 1263,5 = 126,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 729,6 + 142,45 + 25,27 = 897,32 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 853,632 + 60,68 + 126,35 = 1040,67 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(897,32)^2 + (1040,67)^2} = 1374,11 \text{ кВА}$$

Для гаража:

$$P_P = 98 \cdot 0,3 = 29,4 \text{ кВт}$$

$$Q_P = 29,4 \cdot 1,33 = 39,102 \text{ кВАр}$$

$$P_{PO} = 11 \cdot 1 \cdot 15,036 = 165,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{PO} = 165,4 \cdot 0,426 = 70,46 \text{ кВАр}$$

$$P_{\text{СУМ}} = 29,4 + 165,4 = 194,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{СУМ}} = 39,102 + 70,46 = 109,56 \text{ кВАр}$$

$$S_{\text{СУМ}} = \sqrt{(194,8)^2 + (109,56)^2} = 223,49 \text{ кВА}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 223,49 = 4,47 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 223,49 = 22,35 \text{ кВАр}$$

$$P_M = 29,4 + 165,4 + 4,47 = 199,27 \text{ кВт}$$

$$Q_M = 39,102 + 70,46 + 22,35 = 131,91 \text{ кВАр}$$

$$S_M = \sqrt{(199,27)^2 + (131,91)^2} = 238,97 \text{ кВА}$$

Таблица 1 – Расчетные электрические нагрузки

Исходные данные						Расчетные величины		Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u P_n$	$K_u P_n \text{tg} j$		активная, кВт	реактивная, квар**	полная, кВт×А	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.*	Номинальная (установленная) мощность, кВт		коэффициент использования	коэфф. реактивной мощности				$P_p = K_p S K_u P_n$	$Q_p = 1,1 S K_u P_n \text{tg} j$		
		одного ЭП	общая			при $n_3 \leq 10$;						
						p_n	$P_n = n p_n$	$Q_p = S K_u P_n \text{tg} j$	при $n_3 > 10$			
1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
РП-67												
ТП-67	1		1305,632	0,57	0,85/0,62	744,21	461,4102	0,8	1459,368	783,8482	1656,5545	159,591
АД-400	3	400	1200	0,9	0,9/0,48	1080	518,4					
Σ	4	400	2505,632	0,728044		1824,21	979,8102					
РП-61												
ТП-68	1		1718,941	0,68	0,86/0,59	1168,88	689,6392	0,95	8450,241	4519,21	9582,788	923,1973
ТП-62	1		1667,212	0,66	0,87/0,57	1100,36	627,2052					
ТП-63	1		2015,222	0,54	0,85/0,62	1088,22	674,6964					
ТП-64	1		1500,961	0,77	0,89/0,51	1155,74	589,4274					
ТП-61	2		1772,075	0,67	0,87/0,57	1187,29	676,7553					
АД-630	3	630	1890	0,9	0,91/0,46	1701	782,46					
АД-1250	1	1250	1250	0,91	0,9/0,48	1137,5	546					
АД-400	1	400	400	0,89	0,9/0,48	356	170,88					
Σ	11		12214,41	0,7282373		8894,99	4757,064					

Продолжение таблицы 1

Исходные данные						Расчетные величины		Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u P_n$	$K_u P_n tgj$		активная, кВт	реактивная, квар**	полная, кВ×А	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.*	Номинальная (установленная) мощность, кВт		коэффициент использования	коэфф. реактивной мощности				$P_p = K_p S K_u P_n$	$Q_p = 1,1 S K_u P_n tgj$		
		одного ЭП	общая			при $n_3 \leq 10$;	при $n_3 > 10$					
		n	p_n					$P_n = n p_n$				
1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
РП-14												
ТП-14	1		1735,781	0,64	0,85/0,62	1110,9	688,758	0,9	3734,55	2003,641	4238,0941	408,2942
ТП-47	1		1966,607	0,56	0,86/0,59	1101,3	649,767					
АД-320	2	320	640	0,8	0,89/0,51	512	261,12					
АД2-630	3	630	1890	0,8	0,9/0,48	1512	725,76					
АД-340	1	340	340	0,8	0,89/0,51	272	138,72					
АД-295	1	295	295	0,8	0,89/0,51	236	120,36					
Σ	9	1585	6867,388	0,6908303		4744,2	2584,485					
ГПП-1												
РП-61	1		7691,56	0,73		8450,241	4519,21	1	16913,18	9389,428	19344,687	1863,65
РП-65	1		12578,38	0,72		1302,039	729,0056					
РП-67	1		1635,67	0,73		1459,368	783,8482					
ТП-52	1		2178,727	0,55	0,85/0,62	1198,3	742,946					
ТП-53	1		1711,284	0,67	0,85/0,62	1146,56	710,8672					

Продолжение таблицы 1

Исходные данные						Расчетные величины		Коэффициент т расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u P_n$	$K_u P_n \text{tg} j$		активная, кВт	реактивная, квар**	полная, кВ×А	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.*	Номинальная (установленная) мощность, кВт		коэффициент использования	коэфф. реактивной мощности				$P_p = K_p S K_u P_n$	$Q_p = 1,1 S K_u P_n \text{tg} j$		
		одного ЭП	общая			K_u	при $n_3 \leq 10$;					
		n	p_n	$P_n = n p_n$	$Q_p = S K_u P_n \text{tg} j$		при $n_3 > 10$					
1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
РП-17												
ТП-17	1		1949,77	0,61	0,85/0,62	1189,36	737,4032	0,95	4826,342	2518,035	5443,7191	524,4431
СД-1250	2	1250	2500	0,95	0,9/0,48	2375	1140					
АД-320	5	320	1600	0,8	0,89/0,51	1280	652,8					
АД-295	1	295	295	0,8	0,89/0,51	236	120,36					
Σ	9	1865	6344,77	0,8007161		5080,36	2650,563					
РП-5												
ТП-11	1		2952,05	0,6	0,85/0,62	1771,23	1098,163	0,95	4696,753	2662,823	5399,0841	520,143
ТП-8	1		2676,593	0,54	0,87/0,57	1445,36	823,8552					
ТП-5	1		1498,667	0,48	0,89/0,51	719,36	366,8736					
ТП-7	1		1437,216	0,51	0,86/0,59	732,98	432,4582					
АД-630	2	630	1260	0,8	0,89/0,51	1008	514,08					
Σ	6	630	8387,309	0,589456		4943,95	2802,971					

Продолжение таблицы 1

Исходные данные						Расчетные величины		Коэффициент т расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u P_n$	$K_u P_n tgj$		активная, кВт	реактивная, квар**	полная, кВ×А	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.*	Номинальная (установленная) мощность, кВт		коэффициент использования	коэфф. реактивной мощности				$P_p = K_p S K_u P_n$	$Q_p = 1,1 S K_u P_n tgj$		
		одного ЭП	общая			при $n_3 \leq 10$;						
		p_n	$P_n = n p_n$				при $n_3 > 10$					
1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
РП-17												
РП-14	1		6867,388	0,7		3734,55	2003,641	1	17152,62	7184,499	18596,493	1791,57
РП-17	1		6344,77	0,82		4826,342	2518,035					
РП-5	1		8387,309	0,6		4696,753	2662,823					
АД-1600	2	1600	3200	0,88	0,91/0,46	2816	1295,36					
ТП-33	1		2202	0,49	0,87/0,57	1078,98	615,0186					
ГПП-2												
ТП-11	1		2952,05	0,6	0,85/0,62	1771,23	1098,163	0,95	4696,753	2662,823	5399,0841	520,143
ТП-8	1		2676,593	0,54	0,87/0,57	1445,36	823,8552					
ТП-5	1		1498,667	0,48	0,89/0,51	719,36	366,8736					
ТП-7	1		1437,216	0,51	0,86/0,59	732,98	432,4582					
АД-630	2	630	1260	0,8	0,89/0,51	1008	514,08					
Σ	6	630	8387,309	0,589456		4943,95	2802,971					

Продолжение таблицы 1

Исходные данные						Расчетные величины		Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u P_n$	$K_u P_n \text{tgj}$		активная, кВт	реактивная, квар**	полная, кВт×А	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.*	Номинальная (установленная) мощность, кВт		коэффициент использования	коэфф. реактивной мощности				$P_p = K_p S K_u P_n$	$Q_p = 1,1 S K_u P_n \text{tgj}$		
		одного ЭП	общая				при $n_3 \leq 10$;					
		n	p_n			$P_n = n p_n$	$Q_p = S K_u P_n \text{tgj}$	при $n_3 > 10$				
1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
РП-13												
ТП-13	1		2603,705	0,44	0,85/0,62	1145,63	710,2906	0,9	6525,477	3330,46	7326,2412	705,8036
СД-1000	4	1000	4000	0,8	0,9/0,48	3200	1536					
АД-210	4	210	840	0,92	0,88/0,54	772,8	417,312					
АД-250	2	250	500	0,9	0,89/0,51	450	229,5					
АД-630	3	630	1890	0,89	0,9/0,48	1682,1	807,408					
РП3												
ТП-3	1		1674,133	0,45	0,87/0,57	753,36	429,4152	0,95	10150,62	5335,627	11467,517	1104,77
ТП-6	1		1723,333	0,69	0,85/0,62	1189,1	737,242					
АД-1600	6	1600	9600	0,88	0,89/0,51	8448	4308,48					
АД-320	1	320	320	0,92	0,9/0,48	294,4	141,312					
Σ	9	1920	13317,47	0,8023193		10684,86	5616,449					

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

При расчете электрических нагрузок механического завода использовались рекомендации изложенные в РТМ 36.18.32.4-92.

В разделе выпускной квалификационной работы выполнен расчет электрических нагрузок высоковольтных потребителей, результаты расчета учтены в общей электрической нагрузке механического завода.

3 Выбор высоковольтных электродвигателей

В данном пункте проводится выбор электродвигателей класса напряжения 10 кВ.

Выбор электродвигателей осуществляется в соответствии с требованиями [7]:

- 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 на напряжение 10 кВ.

К установке принимаются асинхронные двигатели производства российской компании ОАО «Русэлпром» серии ДА304, ДА30, и синхронные серии СТД, ДСВ а так же двигатели производства Германии компании «Siemens».

Так же в качестве синхронных двигателей выбраны двигатели производства ОАО «Русэлпром».

Паспортные данные выбранных электродвигателей представлены и места их установки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Выбираемые высоковольтные электродвигатели

Р П	Наименование	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Напряжение, В	Типоразмер	Вращаемый механизм
67	ДН-1	АД	400	1500	10000	ДАЗО4-85/37-4У1	Циркуляционный насос
	ДН-2	АД	400	1500	10000	ДАЗО4-85/37-4У1	Циркуляционный насос
	ДН-3	АД	400	1500	10000	ДАЗО4-85/62-8У1	Циркуляционный насос
61	ДВ-1	АД	630	750	10000	ДАЗО4-85/59-6У1	Вентилятор
	ДВ-2	АД	630	750	10000	ДАЗО4-85/59-6У1	Вентилятор
	АД-1	АД	1250	1000	10000	1РА1 454-6НА80	Аммиачный насос
	АД-2	АД	400	1000	10000	ДАЗО4-85/62-8У1	Аммиачный насос
	АД-1	АД	630	1500	10000	ДАЗО4-85/62-8У1	Газодувка
	АД-1	АД	630	1000	10000	ДАЗО4-85/59-6У1	Насос
	АД-2	АД	320	1500	10000	ДАЗО4-85/37К-4У1	Циркуляционный насос
	АД-3	АД	630	1500	10000	ДАЗО4-85/49-4У1	Конденсатный насос
	АД-4	АД	320	1500	10000	ДАЗО4-85/37К-4У1	Циркуляционный насос
	АД-5	АД	630	750	10000	1РА1 450-8НВ80	Вентилятор

Продолжение таблицы 2

Р П	Наименование	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Напряжение, В	Типоразмер	Вращаемый механизм
	АД-6	АД	295	750	10000	ДАЗО4-85/51-8У1	Вентилятор
	АД-7	АД	295	750	10000	ДАЗО4-85/51-8У1	Вентилятор
17	АД-2	АД	320	1500	10000	ДАЗО-315-10-1500У1	Конденсатный насос
	АД-3	АД	320	1000	10000	ДАЗО-315-10-1000У1	Дымосос
	АД-4	АД	320	1000	10000	ДАЗО-315-10-1000У1	Дымосос
	АД-5	АД	320	1000	10000	ДАЗО-315-10-1000У1	Дымосос
	АД-6	АД	295	750	10000	ДАЗО4-400У-8У1	Вентилятор
	СД-1	СД	1250	3000	10000	СТД-1250-2УХЛ4	Компрессор
	СД-2	СД	1250	3000	10000	СТД-1250-2УХЛ4	Газодувка
	СД-3	СД	1250	3000	10000	СТД-1250-2УХЛ4	Газодувка
	СД-4	СД	1250	3000	10000	СТД-1250-2УХЛ4	Газодувка
	АД-1	АД	630	750	10000	ДАЗО-630-6-750УХЛ1	Вентилятор
	АД-3	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Циркуляционный насос

Продолжение таблицы 2

Р П	Наименование	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Напряжение, В	Типоразмер	Вращаемый механизм
13	СД-1	СД	1000	3000	10000	ДСВ-1600/10-8УХЛ4	Компрессор
	СД-2	СД	1000	600	10000	ДСВ-1000/10-10УХЛ4	Циркуляционный насос
	СД-3	СД	1000	600	10000	СДВ-1000-6-600У3	Циркуляционный насос
	СД-4	СД	1000	600	10000	СДВ-1000-6-600У3	Циркуляционный насос
	ДВ-1	АД	210	1500	10000	ДАЗО-315-10-1500У1	Агрегатный насос
	ДВ-2	АД	250	1000	10000	ДАЗО-250-10-1000У1	Вентилятор
	ДВ-3	АД	210	1500	10000	ДАЗО-250-10-1500У1	Агрегатный насос
	ДВ-4	АД	250	1000	10000	ДАЗО-250-10-1000У1	Агрегатный насос
	ДВ-5	АД	210	1500	10000	ДАЗО-315-10-1500У1	Агрегатный насос
	ДВ-6	АД	210	1500	10000	ДАЗО-315-10-1500У1	Агрегатный насос
	ДН-1	АД	630	1500	10000	ДАЗО4-85/49-4У1	Водный насос
	ДН-2	АД	630	1500	10000	ДАЗО4-85/49-4У1	Водный насос

Продолжение таблицы 2

Р П	Наименование	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Напряжение, В	Типоразмер	Вращаемый механизм
3	ТК-1	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Газодувка
	ТК-2	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Газодувка
	ТК-3	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Газодувка
	ТК-4	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Газодувка
	ТК-5	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Газодувка
	ТК-6	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Газодувка
	АД-4	АД	320	1000	10000	ДА30-315-10-1000У1	Дымосос
4	ТК-6	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Компрессор
	ТК-7	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Компрессор
	ТК-8	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Компрессор
	ТК-9	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Компрессор
	ТК-10	АД	1600	1500	10000	1RP1 454-4HA80	Компрессор

Выводы по разделу. В разделе выполнен выбор высоковольтных электродвигателей класса напряжения 10 кВ.

4 Выбор распределительных трансформаторов механического завода

Распределительные трансформаторы являются источниками питания для цеховых электроприемников напряжением 0,4 кВ. Выбор трансформаторов проводится по следующим параметрам [8]:

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

При выборе распределительных трансформаторов предполагается отдавать предпочтение сухим распределительным трансформаторам с литой изоляцией типа ТСЛ производства АО «Группа СВЭЛ». Применение сухих трансформаторов с литой изоляцией позволяет значительно снизить риск возникновения пожара. Для выбора трансформаторов ТП необходимо по расчетным нагрузкам с учетом коэффициента перегрузки и $\cos\varphi$ определить необходимую мощность трансформатора [8].

Необходимая мощность трансформатора определяется формулой (8):

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{P_p}{k_{\text{пер}} \cdot (n-1) \cdot \cos\varphi} \quad (8)$$

где $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

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

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

n – число трансформаторов.

Определим необходимую мощность трансформатора ТП-67 по выражению (8) [9]:

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

Принимаем к установке 2 трансформатора типа ТСЗ номинальной мощностью 630 кВА

Определим потери активной и реактивной мощностей в выбранных трансформаторах по формулам (9) и (10):

$$\Delta P_{\text{T}} = N_{\text{T}}(\Delta P_{\text{XX}} + K_3^2 \Delta P_{\text{КЗ}}) \quad (9)$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = N_{\text{T}}(i_0 + K_3^2 U_{\text{КЗ}}) \frac{S_{\text{T}}}{100} \quad (10)$$

Определяем потери активной и реактивной мощности в трансформаторах по выражениям (9) и (10):

$$\Delta P_{\text{T}} = 2 \cdot (1,15 + 0,7^2 \cdot 6,8) = 8,96 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = 2 \cdot (0,8 + 0,7^2 \cdot 5,5) \cdot \frac{630}{100} \text{ квар}$$

Выбранные силовые трансформаторы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Выбранные трансформаторы

Наименование	cosφ/tgφ	Расчетная нагрузка			Потери		Количество и мощность трансформаторов, шт. кВА
		кВт	квар	кВА	кВт	квар	
ТП-67	0,85/0,62	744,2	461,41	875,6	8,96	44,0	ТСЛ-630/10x2
ТП-68	0,86/0,59	1168,88	461,41	1256,65	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-62	0,87/0,57	1100,36	627,20	1266,55	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-63	0,85/0,62	1088,22	674,6964	1280,40	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-64	0,89/0,51	1155,74	589,4274	1297,36	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-61	0,87/0,57	1187,29	676,7553	1366,61	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2

Продолжение таблицы 3

Наименование	cosφ/tgφ	Расчетная нагрузка			Потери		Количество и мощность трансформаторов, шт. кВА
		кВт	квар	кВА	кВт	квар	
ТП-81	0,87/0,57	186,76	106,4532	214,96	3,26	69,86	ТСЛ-160/10x2
ТП-82	0,85/0,62	705,55	437,441	830,15	8,96	44,0	ТСЛ-630/10x2
ТП-52	0,85/0,62	1198,3	742,946	1409,92	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-53	0,85/0,62	1146,56	710,8672	1349,04	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-57	0,89/0,51	1097,22	559,5822	1097,22	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-71	0,87/0,57	1137,81	648,5517	1309,66	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-72	0,85/0,62	1121,64	695,4168	1121,64	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-14	0,85/0,62	1110,9	688,758	1307,08	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-47	0,86/0,59	1101,3	649,767	1278,70	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-17	0,85/0,62	1189,36	737,4032	1399,40	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2
ТП-11	0,85/0,62	1771,23	1098,163	2084,03	17,05	110,08	ТСЛ-1600/10x2
ТП-8	0,87/0,57	1445,36	823,8552	1663,66	14,7	88,5	ТСЛ-1250/10x2
ТП-5	0,89/0,51	719,36	366,8736	807,57	8,96	44,0	ТСЛ-630/10x2
ТП-7	0,86/0,59	732,98	432,4582	924,24	8,96	44,0	ТСЛ-630/10x2
ТП-33	0,87/0,57	1078,98	615,0186	1241,94	5,56	69,86	ТСЛ-1000/10x2

Выводы по разделу. В разделе выбраны силовые трансформаторы для механического завода. Предпочтение отдано сухим трансформаторам с литой изоляцией производства АО «СВЭЛ».

5 Выбор кабелей и способа прокладки

Выбор сечения кабелей производится в соответствии с требованиями ПУЭ, а именно по длительно допустимому току с учетом снижающих коэффициентов [10].

При выборе кабелей следует отдавать предпочтение кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена.

К монтажу принимаются кабели российского производства компании ОАО «Севкабель».

Выбранные кабели представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Выбранные кабели

Фидер	Марка и сечение КЛ, мм ²	Способ прокладки	Длина, м
РП-67			
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
РП-61			
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
РП-65			
ТП-81	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	55
ТП-82	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	40
АД-630	АСБГ 3x16(ож)-10	Эстакада	22
ПГВ-1			
РП-61	АПвБВВ 3x185мк/25-10	Галерея	224
РП-65	АПвБВнг(А)-LS 3x35мк/16-10	Эстакада	200
РП-67	АПвБВнг(А)-LS 3x50мк/25-10	Галерея	250
ТП-52	АПвБВнг(А)-LS 3x35мк/16-10	Галерея	67
ТП-53	АПвБВнг(А)-LS 3x35мк/16-10	Эстакада	60

Продолжение таблицы 4

Фидер	Марка и сечение КЛ, мм ²	Способ прокладки	Длина, м
ТП-57	АСБГ 3х25(ож)-10	Эстакада	65
ТП-57	АСБГ 3х25(ож)-10	Эстакада	10
ТП-71	АСБГ 3х25(ож)-10	Эстакада	20
ТП-72	АСБГ 3х25(ож)-10	Галерея	37
РП-14			
ТП-14	АСБГ 3х25(ож)-10	В земле	10
ТП-47	АСБГ 3х25(ож)-10	В земле	34
АД-320	АСБГ 3х25(ож)-10	Эстакада	22
АД-320	АСБГ 3х25(ож)-10	Эстакада	22
АД-340	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	40
АД-295	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	20
АД-630	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	32
АД-630	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	32
АД-630	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	32
РП-17			
ТП-17	АСБГ 3х35(ож)-10	Эстакада	15
АД-320	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	10
АД-320	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	10
АД-295	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	10
АД-295	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	10
АД-295	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	10
АД-295	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	10
СД-1250	АСБГ 3х25(ож)-10	Эстакада	15
РП-5			
ТП-11	АСБГ 3х70(ож)-10	Эстакада	24
ТП-8	АПвБВнг(А)-LS 3х50мк/25-10	Эстакада	20
ТП-5	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	19
АД-630	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	25
АД-630	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	25
ПГВ-2			
РП-14	АПвБВнг(А)-LS 3х185мк/70-10	Галерея	222
РП-17	АПвБВнг(А)-LS 3х35мк/16-10х2	Галерея	200
РП-5	АПвБВнг(А)-LS 3х35мк/16-10х2	Галерея	145
АД-1600	АСБГ 3х25(ож)-10	Галерея	67
ТП-33	АСБГ 3х25(ож)-10	Галерея	60
РП-13			

Продолжение таблицы 4

Фидер	Марка и сечение КЛ, мм ²	Способ прокладки	Длина, м
ТП-13	АСБГ 3х25(ож)-10	Эстакада	10
СД-1000	АСБГ 3х16(ож)-10	Под полом	12
СД-1000	АСБГ 3х16(ож)-10	Под полом	12
АД-210	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	24
АД-250	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	24
АД-630	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	32
АД-630	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	32
АД-630	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	32
РП-3			
ТП-3	АСБГ 3х16(ож)-10	В земле	16
ТП-6	АСБГ 3х35(ож)-10	В земле	16
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Галерея	21
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Галерея	21
АД-320	АСБГ 3х16(ож)-10	Эстакада	45
РП-4			
ТП-7	АСБГ 3х25(ож)-10	Эстакада	18
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Эстакада	22
АД-1600	АСБГ 3х35(ож)-10	Эстакада	22
ПГВ-3			
РП-13	АПвБВнг(А)-LS 3х150мк/25-10х2	Эстакада	167
РП-3	ПвБВнг(А)-LS 3х185мк/25-10	Эстакада	190
РП-4	ПвБВнг(А)-LS 3х150мк/95-6	Эстакада	207
ТП-24	АСБГ 3х25(ож)-10	Эстакада	82

Выводы по разделу. В разделе выбраны кабели для прокладки их по территории механического завода.

Предпочтение отдано кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена с алюминиевыми жилами, такие кабели имеют большую надежность. Для некоторых РП выбраны кабели с медными жилами, т.к. потребители подключенные к этим РП имеют значительную нагрузку.

В качестве способов прокладки приняты: прокладка с применением технологических эстакад, прокладка с применением галереи, а также в земле и под полом.

6 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ необходим для выбора такого электрооборудования как силовые выключатели. Расчет токов КЗ ведется в именованных единицах. Перед расчетом составляется расчетная схема и схема замещения [11]. Составим схему замещения для расчета токов КЗ на шинах РП-17 (рисунки 1-2).

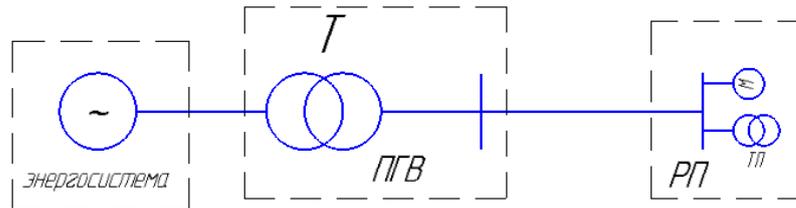


Рисунок 1 – Расчетная схема

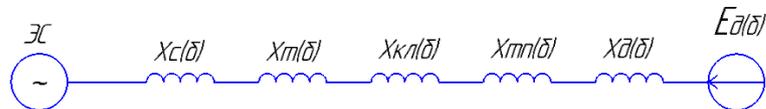


Рисунок 2 – Схема замещения

Сначала необходимо определить сопротивление энергосистемы по формуле (11) [12–14]:

$$x_c = \frac{U_{\text{номВН}}^2}{S_k^{(3)}}, \quad (11)$$

где x_c – индуктивное сопротивление энергосистемы, Ом;

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

$S_k^{(3)}$ – мощность трехфазного короткого замыкания, МВА.

Определяем сопротивление энергосистемы по выражению (11):

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

Далее нужно определить сопротивление трансформатора ПГВ по выражению (12):

$$x_T = \frac{u_k \cdot U_{\text{НОМВН}}^2}{100 S_T}, \quad (12)$$

Определяем сопротивление трансформатора ПГВ по выражению (12):

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

Определяется сопротивление КЛ по выражению (13):

$$x_{\text{кл}} = x_{\text{уд}} \cdot l \quad (13)$$

где $x_{\text{кл}}$ – индуктивное сопротивление кабельной линии, Ом;

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

l – длина кабельной линии, км.

Определяем сопротивление КЛ по выражению (13):

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

Теперь определяется сверхпереходное сопротивление асинхронного двигателя по следующему выражению (14):

$$x''_{ад} = \frac{1}{K_{п}} \cdot \frac{U_{ном}^2 \cdot \cos\varphi \cdot \eta}{P_{ном}}, \quad (14)$$

где $x''_{ад}$ – сверхпереходное сопротивление асинхронного двигателя, Ом;

$K_{п}$ – кратность пускового момента;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение двигателя, кВ

η – коэффициент полезного действия, %;

$P_{ном}$ – номинальная мощность асинхронного двигателя, МВт.

Определяем сверхпереходное сопротивление асинхронного двигателя по выражению (14):

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

Далее определяется суммарное сопротивление в точке КЗ по следующему выражению (15):

$$x_{\Sigma} = x_c + x_T + x_{кл} \quad (15)$$

где x_{Σ} – суммарное сопротивление в точке КЗ, Ом.

Определяем суммарное сопротивление в точке КЗ по выражению (15):

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

Определяется ток КЗ от энергосистемы по выражению (16):

$$I_c = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}}, \quad (16)$$

где I_c – ток КЗ от энергосистемы, кА.

Теперь определяем ток КЗ от энергосистемы по выражению (16):

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

Далее определяются токи подпитки от синхронных и асинхронных по выражению (17):

$$I_{\Pi} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{x'' + x_{\text{кЛ}}} \quad (17)$$

где I_{Π} – ток подпитки КЗ от двигателя, кА.

Определяем токи подпитки от синхронных и асинхронных двигателей по выражению (17):

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

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

Далее определяем суммарный ток КЗ по выражению (18):

$$I_{\Sigma} = I_c + I_{\text{ад}} + I_{\text{сд}} \quad (18)$$

Определяем суммарный ток КЗ по выражению (18):

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

Расчет токов КЗ на шинах и присоединениях остальных РП ведется аналогично. Результаты сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Рассчитанные токи КЗ на стороне 10 кВ

РП, ТП	$I_{п0}$, кА
РП-65	22,7
РП-67	21,8
РП-17	25,7
РП-14	23,9
РП-5	25,8
ТП-67	0,5
РП-61	24,6
РП-13	28,2
РП-4	26,7
РП-3	22,7
ТП-68	0,88
ТП-62	0,99
ТП-63	0,89
ТП-64	0,98
ТП-61	0,78
ТП-81	0,2
ТП-82	0,54
ТП-52	0,66
ТП-53	0,66
ТП-57	0,66
ТП-71	0,66
ТП-72	0,66
ТП-14	0,66
ТП-47	0,66
ТП-17	0,8
ТП-11	1,31
ТП-8	0,89
ТП-5	0,49
ТП-7	0,49
ТП-33	0,81
ТП-13	0,79
ТП-3	0,79
ТП-6	0,78
ТП-7	0,82
ТП-24	0,84
ТП-9	0,97
ТП-10	0,99

Выводы по разделу. В данном разделе выполнен расчет токов КЗ. Наибольший ток КЗ равен 24,8 А, на шинах РП-14.

7 Выбор электрических аппаратов механического завода

Выбор коммутационных аппаратов производится в соответствии с требованиями [15–17].

Выключатели выбираются по следующим критериям:

- 1) По классу напряжения;
- 2) По номинальному току;
- 3) По электродинамической стойкости;
- 4) По отключающей способности на возможность отключения полного симметричного тока.

Проведем выбора выключателей устанавливаемых в ячейках РП-67. Для выбора выключателей необходимо рассчитать тепловой импульс от тока КЗ и полный симметричный ток [18–20]. Данные параметры рассчитываются по (19):

$$i_{\text{расч}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{птрасч}} + i_a \quad (19)$$

где $i_{\text{расч}}$ – полный расчетный ток КЗ, кА;

$I_{\text{птрасч}}$ – расчетное значение периодической составляющей, кА;

i_a – аperiodическая составляющая тока КЗ, кА.

Проводим расчет полного расчетного тока КЗ по выражению (19):

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

Определим тепловой импульс от тока КЗ по формуле (20):

$$B_{\text{красч}} = I_{\text{птрасч}}^2 \cdot \tau \quad (20)$$

$B_{\text{красч}}$ – расчетный тепловой импульс при воздействии тока КЗ, А²/с.

Проводим расчет расчетного теплового импульса от тока КЗ по выражению (20):

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

Выбранные выключатели приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Выбранные выключатели на отходящих присоединениях

Присоединение	Тип	U _{ном} , кВ	I _{ном} , А	I _{откл} , кА	I _{птном} , кА	I _{птрасч} , кА	B _{кном} , А ² /с	B _{красч} , А ² /с	i _{аном} , кА	i _{арасч} , кА
РП-67										
ТП-67	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,49	28·10 ⁶	16807	42300	0,73
ДН-1	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 ⁶	16807	42300	0,7
ДН-2	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 ⁶	16807	42300	0,7
ДН-3	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 ⁶	16807	42300	0,7
РП-61										
ТП-61	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42588	42300	1,1
ТП-61	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42588	42300	1,1
ТП-62	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42588	42300	1,1
ТП-63	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42588	42300	1139
ТП-64	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42588	42300	1,1
ТП-68	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,77	28·10 ⁶	41503	42300	1,1
АД-1250	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	40	40	0,55	28·10 ⁶	16807	42300	0,7

Продолжение таблицы 6

Присоединение	Тип	U _{ном} , кВ	I _{ном} , А	I _{откл} , кА	I _{птном} , кА	I _{птрасч} , кА	B _{кном} , А ² /с	B _{красч} , А ² /с	i _{аном} , кА	i _{арасч} , кА
АД-400	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 ⁶	2·10 ³	42300	0,28
РП-65										
ТП-81	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,12	28·10 ⁶	1008	42300	0,1
ТП-82	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,49	28·10 ⁶	16807	42300	0,7
АД-630	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,3	28·10 ⁶	4,5·10 ³	42300	0,42
ПГВ-1										
РП-61	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	30	30	23,3	45·10 ⁶	27·10 ⁶	32,8	59,2
РП-65	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	30	30	21,6	45·10 ⁶	23·10 ⁶	30,4	59,2
РП-67	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	30	30	22,7	45·10 ⁶	25·10 ⁶	59,2	32,0
ТП-52	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-53	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-57	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-71	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-72	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
РП-14										
ТП-14	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-47	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
АД-320	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 ⁶	2·10 ³	42,3	0,28

Продолжение таблицы 6

Присоединение	Тип	U _{ном} , кВ	I _{ном} , А	I _{откл} , кА	I _{птном} , кА	I _{птрасч} , кА	B _{кном} , А ² /с	B _{красч} , А ² /с	i _{аном} , кА	i _{арасч} , кА
АД-295	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,19	28·10 ⁶	2·10 ³	42,3	0,28
АД-630	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,3	28·10 ⁶	4,5·10 ³	42,3	0,42
РП-17										
ТП-17	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
АД-320	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 ⁶	2·10 ³	42,3	0,28
АД-295	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,19	28·10 ⁶	2·10 ³	42,3	0,28
СД-1250	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	40	40	0,55	28·10 ⁶	16·10 ³	42,3	0,7
РП-5										
ТП-11	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	1,23	28·10 ⁶	75·10 ³	42,3	1,73
ТП-8	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,97	28·10 ⁶	47·10 ³	42,3	1,36
ТП-5	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 ⁶	17·10 ⁶	42,3	0,73
ТП-7	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,5	28·10 ⁶	17·10 ⁶	42,3	0,73
АД-630	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,3	28·10 ⁶	4,5·10 ³	42,3	0,42
ПГВ-2										
РП-14	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	30	30	24,8	45·10 ⁶	31·10 ⁶	34,8	59,2
РП-17	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	30	30	26,4	45·10 ⁶	34·10 ⁶	37,2	59,2
РП-5	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	2000	30	30	24,7	45·10 ⁶	30·10 ⁶	34,8	59,2
АД-1600	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,6	28·10 ⁶	18·10 ³	42,3	0,84

Продолжение таблицы 6

Присоединение	Тип	U _{ном} , кВ	I _{ном} , А	I _{откл} , кА	I _{птном} , кА	I _{птрасч} , кА	B _{кном} , А ² /с	B _{красч} , А ² /с	i _{аном} , кА	i _{арасч} , кА
РП-13										
ТП-13	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,8	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
СД-1000	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,55	28·10 ⁶	16·10 ³	42,3	0,7
АД-210	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,19	28·10 ⁶	2·10 ³	42,3	0,28
АД-250	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,19	28·10 ⁶	2·10 ³	42,3	0,28
АД-630	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,3	28·10 ⁶	4,5·10 ³	42,3	0,42
РП-3										
ТП-3	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,8	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
ТП-6	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,8	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
АД-1600	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,6	28·10 ⁶	18·10 ³	42,3	0,84
АД-320	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,2	28·10 ⁶	2·10 ³	42,3	0,28
РП-4										
ТП-7	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1
АД-1600	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,6	28·10 ⁶	18·10 ³	42,3	0,84
ПГВ-3										
РП-13	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	30	30	27,8	45·10 ⁶	39·10 ⁶	39,1	59,2
РП-3	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	30	30	27,3	45·10 ⁶	37·10 ⁶	38,4	59,2
РП-4	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	30	30	27,3	45·10 ⁶	37·10 ⁶	38,4	59,2
ТП-24	ВВУ-СЭЩ-10	10,5	1000	20	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³	42,3	1,1

Продолжение таблицы 6

Присоединение	Тип	$U_{ном},$ кВ	$I_{ном},$ А	$I_{откл},$ кА	$I_{птном},$ кА	$I_{птрасч},$ кА	$V_{кном},$ A^2/c	$V_{красч},$ A^2/c	$i_{аном},$ кА	$i_{арасч},$ кА
ТП-9	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,77	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1
ТП-10	ВВУ- СЭЩ- 10	10,5	1000	20	20	0,77	$28 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^3$	42,3	1,1

Трансформаторы тока выбираются по следующим условиям [16]:

- по номинальному напряжению;
- номинальному току;
- электродинамической стойкости;
- термической стойкости;
- конструкции и классу точности;
- нагрузке вторичных цепей

Выбранные трансформаторы тока приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Трансформаторы тока на ячейках присоединений

Присоединение	Тип	$U_{ном},$ кВ	$I_{ном1},$ А	$I_{ном2},$ А	$I_{эс},$ кА	$V_{кном},$ A^2/c	$I_{эрасч},$ кА	$V_{красч},$ A^2/c
ПП-67								
ТП-67	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	$28 \cdot 10^6$	0,49	0,73
ДН-1	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	$28 \cdot 10^6$	0,5	0,7
ДН-2	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	$28 \cdot 10^6$	0,5	0,7
ДН-3	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	$28 \cdot 10^6$	0,5	0,7
ПП-61								
ТП-61	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	$28 \cdot 10^6$	0,78	$42 \cdot 10^3$
ТП-61	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	$28 \cdot 10^6$	0,78	$42 \cdot 10^3$

Продолжение таблицы 7

Присоединение	Тип	U _{ном} , кВ	I _{ном1} , А	I _{ном2} , А	I _{эс} , кА	B _{кном} , А ² /с	I _{эсрасч} , кА	B _{красч} , А ² /с
ТП-62	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ТП-63	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ТП-64	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ПП-65								
ТП-81	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,12	16·10 ³
ТП-82	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,49	41·10 ³
АД-630	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,3	20·10 ³
ПГВ-1								
РП-61	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	28·10 ⁶	23,3	27·10 ⁶
РП-65	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	28·10 ⁶	21,6	23·10 ⁶
РП-67	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	22,7	25·10 ⁶
ТП-52	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ТП-53	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	28·10 ⁶	0,78	42·10 ³
ТП-57	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³
ТП-71	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³
ТП-72	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³
РП-14								
ТП-14	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³

Продолжение таблицы 7

Присоединение	Тип	U _{ном} , кВ	I _{ном1} , А	I _{ном2} , А	I _{эс} , кА	B _{кном} , А ² /с	I _{эсрасч} , кА	B _{красч} , А ² /с
АД-320	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,2	28·10 ⁶	20·10 ³
АД-340	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,2	28·10 ⁶	20·10 ³
АД-295	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,19	28·10 ⁶	20·10 ³
АД-630	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,3	28·10 ⁶	4,5·10 ³
ПП-17								
ТП-17	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³
АД-320	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,2	28·10 ⁶	20·10 ³
АД-295	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,19	28·10 ⁶	20·10 ³
СД-1250	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	40	0,55	28·10 ⁶	16·10 ³
ПП-5								
ТП-11	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	1,23	28·10 ⁶	75·10 ³
ТП-8	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,97	28·10 ⁶	47·10 ³
ТП-5	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,5	28·10 ⁶	17·10 ⁶
ТП-7	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,5	28·10 ⁶	17·10 ⁶
АД-630	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,3	28·10 ⁶	4,5·10 ³
ПГВ-2								
РП-14	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	30	24,8	45·10 ⁶	31·10 ⁶
РП-17	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	30	26,4	45·10 ⁶	34·10 ⁶

Продолжение таблицы 7

Присоединение	Тип	U _{ном} , кВ	I _{ном1} , А	I _{ном2} , А	I _{эс} , кА	B _{кном} , А ² /с	I _{эсрасч} , кА	B _{красч} , А ² /с
АД-1600	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,6	28·10 ⁶	18·10 ³
ТП-33	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,78	28·10 ⁶	42588
РП-13								
ТП-13	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,8	28·10 ⁶	42588
СД-1000	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,55	28·10 ⁶	16807
АД-210	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,19	28·10 ⁶	2·10 ³
АД-250	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,19	28·10 ⁶	2·10 ³
АД-630	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,3	28·10 ⁶	4,5·10 ³
РП-3								
ТП-3	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,8	28·10 ⁶	42588
ТП-6	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,8	28·10 ⁶	42588
АД-1600	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,6	28·10 ⁶	18·10 ³
АД-320	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,2	28·10 ⁶	2·10 ³
РП-4								
ТП-7	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,79	28·10 ⁶	42·10 ³
АД-1600	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	20	0,6	28·10 ⁶	18·10 ³
ПГВ-3								
РП-13	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	27,8	45·10 ⁶	39·10 ⁶
РП-3	ТОЛ-СЭЩ-10	10,5	1000	5	30	27,3	45·10 ⁶	37·10 ⁶

Продолжение таблицы 7

Присоединение	Тип	U _{ном} , кВ	I _{ном1} , А	I _{ном2} , А	I _{эс} , кА	В _{кном} , А ² /с	I _{эсрасч} , кА	В _{красч} , А ² /с
РП-4	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	30	27,3	45·10 ⁶	37·10 ⁶
ТП-24	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,78	28·10 ⁶	42·10 ³
ТП-9	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,77	28·10 ⁶	42·10 ³
ТП-10	ТОЛ- СЭЩ- 10	10,5	1000	5	20	0,77	28·10 ⁶	42·10 ³

В таблице 8 приведены характеристики трансформаторов напряжения устанавливаемых на РП.

Для выбора трансформаторов напряжения необходимо определить номинальную и расчетные мощности подключённых к ТН приборов по выражению [21–25] (21):

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} \quad (21)$$

где $S_{2\Sigma}$ – суммарная полная мощность подключаемых ко вторичной обмотке ТН приборов, ВА;

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

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

Определяем суммарную мощность приборов подключаемых ко вторичной обмотке ТН по выражению (22):

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

Таблица 8 – Трансформаторы напряжения на РП

РП	Тип	$U_{ном}, \text{кВ}$	$S_{2\Sigma ном}, \text{ВА}$	$S_{2\Sigma расч}, \text{ВА}$
67	НАЛИ-СЭЩ-10	10,5	800	7,49
61	НАЛИ-СЭЩ-10	10,5	800	7,5
65	НАЛИ-СЭЩ-10	10,5	800	8,0
14	НАЛИ-СЭЩ-10	10,5	800	7,45
17	НАЛИ-СЭЩ-10	10,5	800	8,1
5	НАЛИ-СЭЩ-10	10,5	800	7,5
13	НАЛИ-СЭЩ-10	10,5	800	7,5
3	НАЛИ-СЭЩ-10	10,5	800	7,51
4	НАЛИ-СЭЩ-10	10,5	800	7,45

Выводы по разделу. В разделе выполнен выбор электрических аппаратов для механического завода. Предпочтение отдано электрическим аппаратам современной конструкции, таким как вакуумные выключатели.

Заключение

Выполнен проект системы электроснабжения а именно электрооборудования и электрохозяйства 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 аммиачного производства.

В работе предложено выполнить выбор сухих 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 выпускной квалификационной работе выполнен выбор высоковольтных электродвигателей марок ДАЗ04, ДАЗ0, СТД, ДСВ.

На втором этапе по расчетным электрическим нагрузкам проведен выбор сечения и марки кабелей. В работе предложено авбрать 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 на производстве 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. Степкина, Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб. метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования. Тольятти: ТГУ, 2007. 124 с.
2. 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.
3. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1992. 9 с.
4. 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.
5. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2016. – 464 с.
6. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М: Издательство Аст, 2016. 262 с.
7. Панова А.В. Экономика энергетики: учебное пособие. Владимир: ВлГУ, 2013. 87 с.
8. Нормы технологического проектирования электроснабжения промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1994. 70 с.
9. Макаричев Ю.А., Овсянников В.Н. Синхронные машины. Самара: СГТУ, 2010. 156 с.
10. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. Силовые трансформаторы: справочная книга. М: ГУП ВЭИ, 2004. 616 с.
11. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М: Интернет Инжиниринг, 2006. 672 с.
12. Киреева Э.А. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебное пособие. М: Кнорус, 2017. 368 с.

13. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учебное пособие. М: Инфра-М, 2013. 271 с.
14. ГОСТ-52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1000 В. М: Стандартинформ, 2007. 54 с.
15. 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.
16. Годжелло А.Г., Ю.К. Розанов Электрические и электронные аппараты. М: Издательский центр Академия, 2010. 352 с.
17. 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.
18. В.И. Готман Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Томск: ТПУ, 2013. 120 с.
19. Асинхронные двигатели. Самара: СГТУ, 2008. 142 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. 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.
24. Riley J. System relay protection. // Competition and choice in electricity – Seattle, 2016. p. 211-220.

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