

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 группы цехов агрегатного завода

Обучающийся

Э.С. Головки

(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 осуществлено проектирование электроснабжение группы цехов агрегатного завода.

В выпускной квалификационной работе определены расчетные электрические нагрузки инструментального цеха и предприятия в целом, на основе которых выбраны силовые трансформаторы цеховых подстанций и главной понизительной подстанции и устройства компенсации реактивной мощности.

Выбраны автоматические выключатели, щитки, оборудование ВРУ, оборудование КТП. Принятая к монтажу проводка соответствует условиям ПУЭ.

Также были рассчитаны токи короткого замыкания, по результатам расчетов выполнена проверка автоматических выключателей на отключающую способность и трансформаторов тока на электродинамическую стойкость.

Выпускная квалификационная работа состоит из текстовой и графической части.

Текстовая часть предоставлена в виде пояснительной записки, в которой содержатся расчеты и пояснения. Пояснительная записка содержит 57 страниц, 18 таблиц, 9 рисунков.

Графическая часть выпускной квалификационной работы состоит из шести чертежей формата А1.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 4  |
| 1 Краткая характеристика объекта .....                                 | 6  |
| 2 Расчет электрических нагрузок .....                                  | 9  |
| 2.1 Расчет нагрузок технологического оборудования.....                 | 9  |
| 2.2 Расчет освещения инструментального цеха.....                       | 19 |
| 3 Выбор энергоэффективных трансформаторов цеховой ТП с учетом КРМ..... | 27 |
| 4 Выбор схемы электроснабжения цеха и предприятия .....                | 35 |
| 5 Расчет токов КЗ .....  | 39 |
| 6 Выбор оборудования.....  | 46 |
| 6.1 Выбор проводов и кабелей.....                                      | 46 |
| 6.2 Выбор способа прокладки электропроводки .....                      | 48 |
| 6.3 Выбор коммутационных аппаратов и трансформаторов тока .....        | 49 |
| 6.4 Выбор РУ .....   | 51 |
| Заключение .....   | 54 |
| Список используемых источников.....                                    | 55 |

## Введение

В сегодняшних реалиях эффективное проектирование электроснабжения группы цехов агрегатного завода возможно посредством обеспечения гибкости и последующей модернизации системы. И это является одними из главных задач, наряду с обеспечением надежности и качества электроснабжения.

Рассматриваемый агрегатный завод по своей структуре представляет собой группу основных цехов, которые занимаются изготовлением металлических деталей посредством литья, а также обработки давлением и резанием.

Производство и изготовление металлических деталей посредством литья осуществляется в цехах стального и алюминиевого литья, а обработки давлением и резанием осуществляется в таких цехах как кузнечный, термообработки и механический. Кроме этого присутствуют вспомогательные здания и сооружения, такие как насосная, компрессорная котельная, а также административный корпус и склад.

В выпускной квалификационной работе (ВКР) планируется спроектировать электроснабжение группы цехов агрегатного завода и подробно рассмотреть электроснабжение инструментального цеха (ИЦ), производящего различный инструмент, пресс-формы, приспособления для штамповки. Система электроснабжения цеха представляет собой совокупность цеховых подстанций, вводно-распределительных устройств, электрических шкафов, щитков и проводников, соединяющих подстанции, ВРУ, щитки и потребителей. Потребители в систему электроснабжения не входят.

ИЦ - ответственный потребитель, от надежности его электроснабжения зависит работа основных цехов, таких как механосборочный, кузнечно-прессовый цех. Проектирование системы электроснабжения ИЦ является задачей средней сложности, т.к. в данном цеху отсутствуют взрывоопасные и

пожароопасные зоны, потребители с резкопеременным графиком нагрузки, отсутствует агрессивная среда [1].

При проектировании необходимо использовать: НТП ЭПП-94, РТМ 36.18.32.4-92, РТМ 36.18.32.6-92, ГОСТ Р 28249-93, ГОСТ 11677-85, ПУЭ и другие нормативно-технические документы. Также необходимо учитывать требования ПТЭЭП.

Планируется провести следующие проектные работы:

- определение электрических нагрузок цеха;
- расчет освещенности, выбор светильников;
- выбор числа и мощности силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности;
- выбор схемы внутрицехового электроснабжения;
- расчет токов КЗ на стороне 0,4 кВ;
- выбор электрооборудования схемы внутрицехового электроснабжения.

## 1 Краткая характеристика объекта

Параметры потребляемой мощности по конкретным цехам представлены в таблице. 1. План группы цехов агрегатного завода представлен на рисунке 1.

Таблица 1 – Параметры потребляемой мощности по цехам агрегатного завода

| № цеха | Название цеха          | 0,38 кВ | $K_c$ | $\cos\varphi$ | $tg\varphi$ | Размер цеха, м |
|--------|------------------------|---------|-------|---------------|-------------|----------------|
| 1      | Цех стального литья    | 3070    | 0,6   | 0,75          | 0,88        | 279×74         |
| 2      | Заготовительный        | 5240    | 0,45  | 0,65          | 1,17        | 172×80         |
| 3      | Кузнечный              | 3295    | 0,45  | 0,65          | 1,17        | 279×59         |
| 4      | Термообработки         | 4050    | 0,5   | 0,7           | 1           | 172×74         |
| 5      | Механический           | 4379    | 0,45  | 0,65          | 1,17        | 279×119        |
| 6      | Сварочный              | 3225    | 0,45  | 0,65          | 1,17        | 164×75         |
| 7      | Сборочный              | 2712    | 0,45  | 0,65          | 1,17        | 273×42, 138×42 |
| 8      | Насосная               | 526     | 0,75  | 0,8           | 0,56        | 146×66         |
| 9      | Компрессорная          | 137     | 0,75  | 0,8           | 0,56        | 124×66         |
| 10     | Котельная              | 307     | 0,75  | 0,8           | 0,56        | 142×66         |
| 11     | Столярный              | 418     | 0,4   | 0,65          | 1,17        | 169×36         |
| 12     | Административный корп. | 278     | 0,6   | 0,8           | 0,75        | 204×48         |
| 13     | Цех алюмин. литья      | 2234    | 0,6   | 0,75          | 0,88        | 279×74         |
| 14     | Инструментальный       | 1824    | 0,4   | 0,65          | 1,17        | 175×74         |
| 15     | Склад                  | 98      | 0,3   | 0,6           | 1,33        | 358×42         |

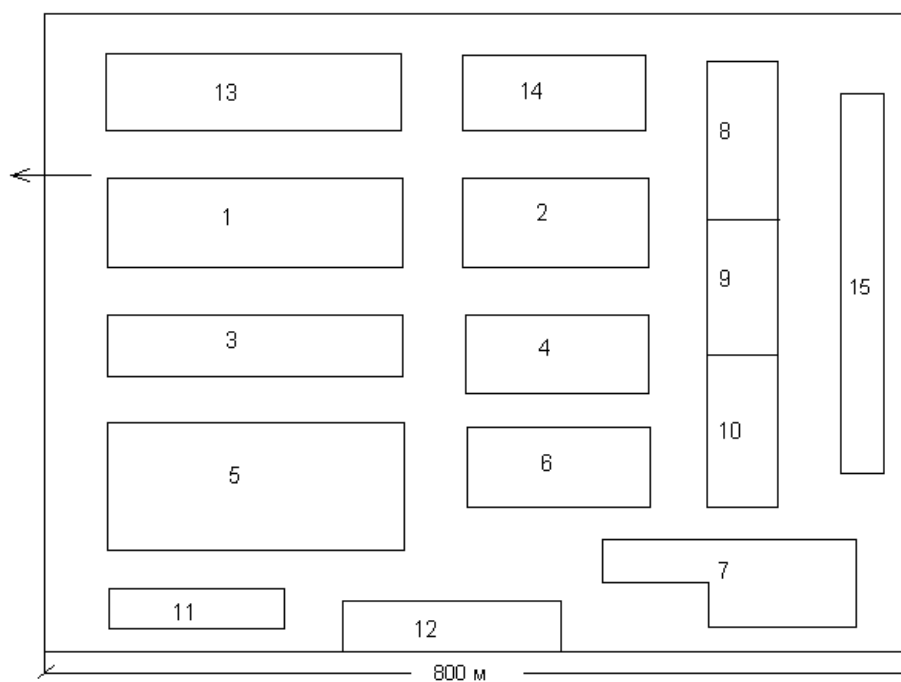


Рисунок 1 – План группы цехов агрегатного завода

К первой категории надежности электроснабжения относятся – компрессорная, котельная и цех стального литья, ко второй категории надежности электроснабжения относятся – заготовительный, кузнечный, термообработки, механический, сварочный, сборочный, насосная и цех алюминиевого литья, к третьей категории надежности электроснабжения относятся – инструментальный, столярный, административный корпус и склад.

Продукцией цеха выступает:

- пресс формы;
- сверла;
- фрезы;

Внутри цеха размещен парк оборудования, включающий в себя все необходимое для производственного процесса технологическое оборудование такое как токарные станки, фрезерные станки, токарные автоматы. Полный перечень технологического оборудования цеха представлен в таблице 2. Электроснабжение цеха выполняется от собственной трансформаторной подстанции (ТП) с высшим напряжением 10 кВ, низшее напряжение составляет 0,4 кВ. Корпус расположен на расстоянии 1,2 км от заводской подстанции.

Количество рабочих смен цеха – 2. По надежности электроснабжения на предприятии присутствуют потребители 2 и 3 категории.

Размеры цеха: А×В×Н=48×30×8 м. Все помещения, кроме производственного участка двухэтажные высотой 3,6 м.

Таблица 2 – Перечень технологического оборудования

| № на плане   | Наименование оборудования    | Мощность одного ЭП, кВт | Примечание |
|--------------|------------------------------|-------------------------|------------|
| 1,2,40,41,46 | Поперечно-строгальные станки | 17                      |            |
| 3,5-7,28-31  | Токарно-револьверные станки  | 20                      |            |

Продолжение таблицы 2

| № на плане        | Наименование оборудования      | Мощность одного ЭП, кВт | Примечание |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------|------------|
| 16,17,19,20,44,45 | Алмазно-расточные станки       | 4,8                     |            |
| 18,21-25,37,38    | Горизонтально-фрезерные станки | 12,5                    |            |
| 35,36,50,51       | Наждачные станки               | 2,5                     | 1-фазные   |
| 39,47             | Кран-балки                     | 10                      | ПВ=60 %    |
| 42,43,48,49,52,53 | Заточные станки                | 3                       | 1-фазные   |

На рисунке 2 показан план цеха.

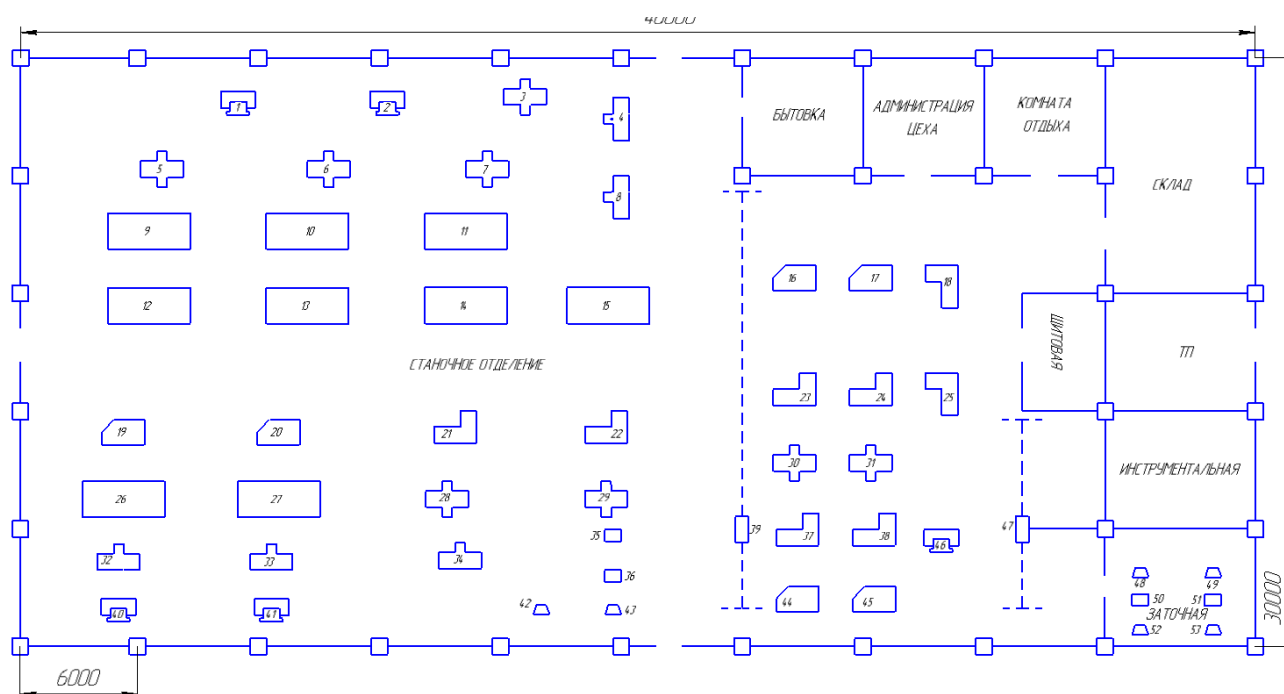


Рисунок 2 – План цеха предприятия агрегатного завода

Выводы по разделу. В разделе дана общая информация об объекте проектирования выпускной квалификационной работы, представлен план цеха.



## 2 Расчет электрических нагрузок

### 2.1 Расчет нагрузок технологического оборудования

При расчете нагрузок цеха необходимо руководствоваться РТМ 36.18.32.4-92.

Вначале рассчитаем установленную мощность группы электроприемников по формуле:

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

где  $P$  – установленная мощность группы электроприемников, кВт;

$n$  – число электроприемников в группе, шт;

$p_n$  – установленная мощность одного электроприемника, кВт.

Рассчитаем установленную мощность группы прямострочных швейных машин по (1):

$$P = 9 \cdot 20 = 180 \text{ (кВт)} \quad (2)$$

Теперь необходимо рассчитать среднюю активную нагрузку группы токарно-револьверных станков, для этого вводится коэффициент использования, который берется из справочных таблиц для расчета нагрузок. Для токарно-револьверных станков коэффициент использования равен 0,17. Рассчитаем среднюю активную мощность [2]:

$$P_c = K_{и} \cdot P \quad (3)$$

где  $P_c$  – средняя активная нагрузка группы ЭП, кВт;

$K_{и}$  – коэффициент использования;

$P$  – установленная мощность группы ЭП, кВт.

Рассчитываем среднюю активную мощность по (3):

$$P_c = 0,17 \cdot 180 = 30,6 \text{ (кВт)} \quad (4)$$

Для расчета средней реактивной нагрузки воспользуемся формулой (3):

$$Q_c = K_{\text{и}} \cdot P \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (5)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности.

Используем (5) для расчета средней реактивной нагрузки:

$$Q_c = 1,17 \cdot 14,4 = 35,8 \text{ (квар)} \quad (6)$$

Для определения мощности группы однофазных ЭП необходимо определить нагрузку каждой фазы. Сначала распределим нагрузку по фазам. На предприятии имеется 4 заточных станка, к фазе А подключим 2 станка к фазам В и С подключим по одному станку, наиболее загруженная фаза – А. Определим коэффициент несимметрии:

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нб}}} \cdot 100\% \quad (7)$$

где  $P_{\text{ф.нб}}$  – активная нагрузка по наиболее загруженной фазе, кВт;

$P_{\text{ф.нм}}$  – активная нагрузка по наименее загруженной фазе, кВт.

По (7) определяем коэффициент несимметрии:

$$H = \frac{5 - 2,5}{5} \cdot 100\% = 50\% \quad (8)$$

Расчетное значение несимметрии после группировки элеткроприемников больше 15 %, а значит, при расчете мы можем воспользоваться выражением:

$$P = 3P_{\text{ф.нб}} \quad (9)$$

где  $P_{\text{ф.нб}}$  - активная нагрузка по наиболее загруженной фазе, кВт.

Теперь определяем активную мощность группы кранобметочно-стачивающих машин с помощью выражения (9):

$$P = 3P_{\text{ф.нб}} = 3 \cdot 5 = 15 \text{ (кВт)} \quad (10)$$

В парке технологического оборудования имеются кран-балки. Эти ЭП работают в повторно-кратковременном режиме, а значит, их мощность необходимо привести к длительному режиму работы по выражению:

$$p_{\text{пр}} = p_{\text{н}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}\%}{100}} \quad (11)$$

где ПВ%– продолжительность включения ЭП, работающего в повторно-кратковременном режиме, %.

Применяя выражение (11) приводим мощность кран-балки к длительному режиму [3]:

$$p_{\text{пр}} = p_{\text{н}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}\%}{100}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{60}{100}} = 7,7 \text{ (кВт)} \quad (12)$$

Теперь необходимо определить эффективное число электроприемников предприятия, которое определяется выражением:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \Sigma P_{\text{н}}}{p_{\text{max}}} \quad (13)$$

где  $\Sigma P_{\text{н}}$  – суммарная активная мощность всех ЭП предприятия, кВт;

$p_{\text{max}}$  – установленная мощность самого мощного ЭП цеха, кВт.

Используя (13) определяем эффективное число электроприемников предприятия:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \Sigma P_{\text{н}}}{p_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot 893,2}{55} = 32,3 \approx 32 \text{ (шт.)} \quad (14)$$

Определим групповой коэффициент использования электроприемников предприятия по выражению:

$$K_{\text{и}} = \frac{\Sigma K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}}}{\Sigma P_{\text{н}}} \quad (15)$$

Применяя выражение (15) определяем групповой коэффициент использования электроприемников предприятия легкой промышленности:

$$K_{\text{и}} = \frac{\Sigma K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}}}{\Sigma P_{\text{н}}} = \frac{149,2}{893,2} = 0,16 \quad (16)$$

Для определения расчетных нагрузок цеха вводится коэффициент расчетной нагрузки, который берется из таблиц РТМ 36.18.32.4-92. В данном случае значение  $K_{\text{р}}$  составляет 0,75. Расчет проводится по формуле:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{р}} \cdot \Sigma K_{\text{и}} \cdot P \quad (17)$$

где  $\sum K_{и} \cdot P$  – сумма средних активных мощностей всех ЭП, кВт;

$K_p$  – коэффициент расчетной нагрузки.

Используя (17) рассчитываем расчетную нагрузку предприятия:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_{и} \cdot P = 0,75 \cdot 155,2 = 116,4 \text{ (кВт)}$$

Расчетная реактивная нагрузка цеха определяется выражением:

$$Q_p = K_p \cdot \sum K_{и} \cdot P \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (18)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности.

Используя (18) рассчитываем расчетную реактивную нагрузку цеха:

$$Q_p = K_p \cdot \sum K_{и} \cdot P \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0,75 \cdot 197,1 = 147,8 \text{ (квар)} \quad (19)$$

Далее рассчитывается полная мощность цеха. Расчет проводится по выражению:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (20)$$

где  $P_p$  – расчетная активная нагрузка цеха, кВт;

$Q_p$  – расчетная реактивная нагрузка цеха, квар.

Определим полную мощность предприятия по формуле (20):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{116,4^2 + 147,8^2} = 188,5 \text{ (кВА)} \quad (21)$$

Теперь необходимо определить силу тока на сборных шинах низшего напряжения трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ цеха по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (22)$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение, кВ.

Применяя (22) рассчитываем силу тока на сборных шинах ТП цеха:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{188,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 272,4 \text{ (A)} \quad (23)$$

Для столярного цеха:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для инструментального цеха:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для склада:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для котельной:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для столярного цеха:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для инструментального цеха:

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

Для склада:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для котельной:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для столярного цеха:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для инструментального цеха:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для склада:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Расчет остальных ЭП ведется аналогично, результаты расчетов сведены в таблицу 3.

## 2.2 Расчет освещения инструментального цеха

В качестве примера выполним расчет освещения в бытовке. В настоящий момент на предприятии используются газоразрядные светильники с лампами типа ЛБ (рисунок 3).



Рисунок 3 – Лампа низкого давления ЛБ-18 и светильник ЛПО 2×18

Вначале определяется высота подвеса светильников по выражению [4]:

$$h_p = H - (h_c - h_{\Pi}) \quad (24)$$

где  $H$  – высота от пола до перекрытия, м;

$h_c$  – свес светильника, м;

$h_{\Pi}$  – высота рабочей поверхности, м.

Рассчитаем высоту подвеса светильников в бытовке по (24):

$$h_p = H - (h_c - h_{\Pi}) = 3,6 - (0,8 + 0,8) = 2 \text{ (м)} \quad (25)$$

Теперь определим максимально допустимое расстояние между светильниками используя выражение:

$$L_A = h_p \cdot \lambda_c \quad (26)$$

где  $\lambda_c$  – коэффициент кривой силы света (КСС).

У используемых светильников косинусная кривая силы света, соответственно значение принимается равным 1,4, допустимое расстояние по (26) равно:

$$L_A = h_p \cdot \lambda_c = 2 \cdot 1,4 = 2,8 \text{ (м)} \quad (27)$$

Расстояние между соседними рядами равно 3 м.

Для дальнейшего расчета необходимо знать коэффициенты отражения от потолка, стен и рабочей поверхности, а также необходимо знать коэффициент запаса и коэффициент минимальной освещенности. В рассматриваемом цехе атмосфера средней загрязненности, примем следующие коэффициенты:  $\rho_n=50\%$ ,  $\rho_c=30\%$ ,  $\rho_p=10\%$ . Коэффициент запаса примем равным 1,5, а коэффициент минимальной освещенности примем равным 1,1 [5].

Теперь необходимо определить индекс помещения используя выражение:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)} \quad (28)$$

Используя (28) определяем индекс помещения на примере бытовки:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)} = \frac{48 \cdot 30}{2 \cdot (48 + 30)} = 1,5 \quad (29)$$

Зная коэффициенты отражения потолка, стен и рабочей поверхности находим по справочным данным коэффициент использования светового потока, в нашем случае он равен 0,44.

Определим требуемый световой поток светильников по формуле

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta} \quad (30)$$

где  $E$  – освещенность, лк;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$S$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;

$N$  – число рядов;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Перед расчетом наметим число рядов, расстояние между стенами и крайними рядами и определим минимальную освещенность. Примем число рядов равным 3, расстояние между стенами и крайними рядами примем равным 1 м, минимальную освещенность примем равной 300 лк. Проведем расчет используя (30):

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 36 \cdot 1,1}{3 \cdot 0,44} = 13500 \text{ (лм)} \quad (31)$$

Теперь определим число светильников в ряду используя выражение:

$$n = \frac{\Phi}{n_{\text{л}} \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (32)$$

где  $\Phi_{\text{л}}$  – световой поток одной лампы, лм;

$n_{\text{л}}$  – число ламп в светильнике, шт.

Используя (32) определяем число светильников в ряду:

$$n = \frac{\Phi}{n_{\text{л}} \cdot \Phi_{\text{л}}} = \frac{13500}{1 \cdot 3259} = 4 \text{ (шт.)} \quad (33)$$

Определим активную мощность светильников по выражению:

$$P_c = p_c \cdot N_{CB} \quad (34)$$

где  $p_c$  – установленная мощность одного светильника, Вт;

$N_{CB}$  – число светильников в помещении, шт.

Используя формулу (34) рассчитываем активную мощность светильников на примере бытовки:

$$P_c = p_c \cdot N_{CB} = 26 \cdot 12 = 312 \text{ (Вт)} \quad (35)$$

Теперь определим реактивную мощность, потребляемую светильниками по выражению:

$$Q = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (36)$$

Используя формулу (19) определяем реактивную мощность потребляемую светильниками:

$$Q = 312 \cdot 0,25 = 78 \text{ квар}$$

Определим полную мощность потребляемую светильниками по формуле (20):

$$S_{л} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (20)$$

Определяем полную мощность потребляемую светильниками по формуле (20):

$$S_{л} = \sqrt{312^2 + 78^2} = 321 \text{ ВА}$$

С учетом того, что все вспомогательные помещения двухэтажные, то соответственно мощности будут равны  $P=624$ ;  $Q=156$  вар;  $S=642$  ВА.

В остальных помещениях расчет проводится аналогично. Конечные данные расчета освещения сведены в таблицу 3, а результат расчета электрических нагрузок в таблицу 4.

Таблица 3 – Конечные данные расчета освещения

| Помещение             | $N_{св}$ , шт | $S$ , кВА | Тип светильника |
|-----------------------|---------------|-----------|-----------------|
| Администрация<br>цеха | 24            | 0,642     | OFLED SL 66     |
| Бытовка               | 24            | 0,642     | OFLED SL 66     |
| Комната<br>отдыха     | 24            | 0,642     | OFLED SL 66     |
| Склад                 | 43            | 1,152     | OFLED SL 66     |
| ТП                    | 24            | 0,642     | OFLED SL 66     |
| Щитовая               | 24            | 0,642     | OFLED SL 66     |
| Инструментальная      | 24            | 0,642     | OFLED SL 66     |
| Заточная              | 24            | 0,642     | OFLED SL 66     |
| Станочный участок     | 66            | 1,768     | OFLED SL 66     |



Таблица 4 – Расчет электрических нагрузок

| Исходные данные    |                              |  |                        |                                       |   | Расчетные величины |                                     |              | Эффективное число<br>ЭП·<br>$n_{\Sigma} = (\sum P_n)^2 / \sum n P_n^2$ | Коэффициент<br>расчетной<br>нагрузки<br>$K_p$ | Расчетная мощность                        |   |   | Расчетный ток, А<br>$I_p = S_p / (\sqrt{3} U_n)$ |
|--------------------|------------------------------|--|------------------------|---------------------------------------|---|--------------------|-------------------------------------|--------------|--|---|---|---|---|--|
| Наименование<br>ЭП | Количество<br>ЭП, шт.<br>$n$ | Номинальная<br>(установленная)<br>мощность, кВт· |                        | коэффициент<br>использования<br>$K_n$ | коэффициент<br>реактивной<br>мощности<br>$\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi}$ | $K_n P_n$          | $K_n P_n \operatorname{tg} \varphi$ | $n P_n^2$    |  |   | активная, кВт<br>$P_p = K_p \sum K_n P_n$ | реактивная,<br>квар·<br>$Q_p = 1,1 \sum K_n P_n \operatorname{tg} \varphi$<br>при $n_{\Sigma} \leq 10$ ;<br>$Q_p = \sum K_n P_n \operatorname{tg} \varphi$<br>при $n_{\Sigma} > 10$ | полная, кВт·А<br>$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$ |  |
|                    |                              | одного ЭП<br>$P_n$                               | общая<br>$P_n = n P_n$ |                                       |   |                    |                                     |              |  |   |   |   |   |  |
| 1                  | 2                            | 3  | 4                      | 5                                     | 6   | 7                  | 8                                   | 9            | 10   | 11  | 12  | 13  | 14  | 15   |
| ПСС                | 5                            | 17   | 85                     | 0,17                                  | 0,65/1,17   | 14,4               | 16,8                                | 1445         |  |   |   |   |   |  |
| ТРС                | 8                            | 20   | 160                    | 0,17                                  | 0,65/1,17   | 27,2               | 31,8                                | 3600         |  |   |   |   |   |  |
| ОАТ                | 5                            | 2,2  | 11                     | 0,14                                  | 0,5/1,73  | 1,5                | 2,5                                 | 24,2         |  |   |   |   |   |  |
| ТА                 | 9                            | 55   | 495                    | 0,17                                  | 0,65/1,17   | 84,2               | 98,5                                | 24200        |  |   |   |   |   |  |
| АРС                | 6                            | 4,8  | 28,8                   | 0,14                                  | 0,5/1,73  | 4,0                | 6,9                                 | 138,2        |  |   |   |   |   |  |
| ГФС                | 8                            | 12,5   | 100                    | 0,14                                  | 0,5/1,73  | 14                 | 24,2                                | 1250         |  |   |   |   |   |  |
| НС                 | 4                            | 2,5  | 15                     | 0,14                                  | 0,5/1,73  | 2,1                | 3,6                                 | 25           |  |   |   |   |   |  |
| КБ                 | 2                            | 7,7  | 15,4                   | 0,35                                  | 0,5/1,73  | 5,3                | 9,1                                 | 118,5        |  |   |   |   |   |  |
| ЗС                 | 6                            | 3  | 18                     | 0,14                                  | 0,5/1,73  | 2,5                | 4,3                                 | 54           |  |   |   |   |   |  |
| Итог<br>без<br>осв | 53                           | 55/2,5   | 928,2                  | 0,16                                  | -/1,27  | 15<br>5,2          | 197,1                               | 8241<br>54,7 | 32   | 0,75  | 116,4                                     | 147,8   | 188,2   | 271,9  |
| Итог<br>с осв      |                              |  |                        |                                       |   |                    |                                     |              |  |   | 21,8                                      | 10,5  | 23,6  | 34,0   |
| Итог<br>по<br>цеху |                              |  |                        |                                       |   |                    |                                     |              |  |   | 138,2                                     | 158,3   | 158,3   | 305,9  |

Выводы по разделу. В данном разделе выпускной квалификационной работы определены расчетные электрические нагрузки инструментального цеха и в целом по группе цехов агрегатного 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 инструментального цеха использовались рекомендации изложенные в РТМ 36.18.32.4-92.

В разделе выпускной квалификационной работы выполнен расчет освещения помещений цеха, результаты расчета учтены в общей электрической нагрузке цеха.

### 3 Выбор энергоэффективных трансформаторов цеховых ТП с учетом КРМ

Для повышения уровня энергоэффективности предприятия предполагается установка силовых трансформаторов, с малыми потерями. Перед выбором силовых трансформаторов производится выбор средств компенсации реактивной мощности [6].

При расчетах используется РТМ 36.18.32.6-92, а так же учитываются требования ПУЭ.

Выбор трансформаторов и средств КРМ производится на основе технико-экономического сравнения. Перед выполнением расчетов зададимся исходными данными:

- плата за мощность  $\alpha=5000$  руб/кВт;
- плата за электроэнергию  $\beta=1,1$  руб/Квт·ч

Рассчитаем удельные стоимостные показатели.

Определим число часов использования максимальной реактивной мощности по формуле (21):

$$T_{mQэ} = \frac{T_r \cdot (K_m - 2\psi + 1)}{2(1 - \psi)} \quad (21)$$

где  $T_r$  – Годовой фонд рабочего времени, для двусменных предприятий (цехов) принимается 4000 ч;

$K_m$  – Коэффициент сменности;

$\psi$  – Степень компенсации, принимается равной 0,6 для предприятий получающих питание от сети 110 кВ.

Определяем число часов использования максимальной реактивной мощности по формуле (21):

$$T_{mQэ} = \frac{4000 \cdot (0,9 - 2 \cdot 0,6 + 1)}{2(1 - 0,6)} = 3500 \text{ ч.}$$

Определим удельную стоимость потерь активной мощности за год по формуле (22):

$$C_{\text{ПГ}} = (a + b \cdot T_{\text{Г}} \cdot 10^{-2}) \quad (22)$$

Используя формулу (22) определяем стоимость потерь активной мощности за год:

$$C_{\text{ПГ}} = (5000 + 1,1 \cdot 4000 \cdot 10^{-2}) = 54400 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}} \cdot \text{год}$$

Определим удельные затраты на потери активной мощности в батареях низковольтных конденсаторов по формуле (23):

$$Z_{\text{рнк}} = C_{\text{п}} \cdot P_{\sigma} \quad (23)$$

где  $P_{\sigma}$  – удельные потери активной мощности на генерирование РМ, кВт/квар.

Используя формулу (23) определяем затраты на потери активной мощности в батареях низковольтных конденсаторов:

$$Z_{\text{рнк}} = 54400 \cdot 0,004 = 217,6 \frac{\text{руб}}{\text{квар}}$$

Определим удельные затраты на компенсацию реактивной мощности по формуле (24):

$$Z_{\text{нк}} = 0,22C_{\text{нк}} + Z_{\text{рнк}} \quad (24)$$

где  $C_{НК}$  – Стоимость конденсаторной батареи, берется из каталога производителя, руб;

Используя формулу (24) определяем удельные затраты на компенсацию реактивной мощности

$$Z_{НК} = 0,22 \cdot 30100 + 217,6 = 6839,6 \frac{\text{руб}}{\text{квар}}$$

Теперь мы рассчитываем мощности трансформаторов и компенсирующих устройств.

Вначале определим мощность одного трансформатора по формуле (25):

$$S_T \geq \frac{P_p}{K_3 \cdot N_T} \quad (25)$$

где  $P_p$  – расчетная активная мощность потребляемая цехом, кВт;

$K_3$  – Коэффициент загрузки, в данном случае принимается равным 0,7;

$N_T$  – Число трансформаторов, шт.

$$S_T \geq \frac{138,2}{0,7 \cdot 2} = 98,5 \approx 100 \text{ кВА}$$

К установке принимаем 2 энергоэффективных силовых трансформатора мощностью 100 кВА каждый производства АО «СВЭЛ». Трансформатор показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Трансформатор ТМГ-100/10 УХЛ1

Теперь определим потери активной и реактивной мощности в трансформаторах по формулам (26) и (27) [7]:

$$\Delta P_T = N_T \cdot (\Delta P_{XX} + K_3^2 \cdot \Delta P_{K3}) \quad (26)$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_T}{100} \quad (27)$$

где  $\Delta P_{XX}$  – активные потери холостого хода, кВт;

$\Delta P_{K3}$  – активные потери короткого замыкания, кВт;

$U_{K3}$  – напряжение короткого замыкания, %;

$i_0$  – ток холостого хода, %.

Используя формулы (26) и 27) определяем потери активной и реактивной мощности в трансформаторах

$$\Delta P_T = 2 \cdot (0,26 + 0,7^2 \cdot 1,97) = 3,15 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 2 \cdot (1,10 + 0,7^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{100}{100} = 6,6 \text{ квар}$$

Определим мощность потребляемую предприятием с учетом потерь в трансформаторах по формулам (28) и (29):

$$P_{p\Sigma} = P_p + \Delta P_T \quad (28)$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_p + \Delta Q_T \quad (29)$$

Используя формулы (28) и (29) определяем потребляемую предприятием с учетом потерь в трансформаторах:

$$P_{p\Sigma} = 123,6 + 2,4 = 126,0 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\Sigma} = 149,6 + 6,6 = 156,2 \text{ квар}$$

Определим реактивную мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть 0,4 кВ по формуле (30):

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot S_T \cdot K_3 \cdot N_T)^2 - P_{p\Sigma}} \quad (30)$$

Используя формулу (30) определяем реактивную мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть 0,4 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot 100 \cdot 0,7 \cdot 2)^2 - 126,0^2} = 88,5 \text{ квар}$$

Определим реактивную мощность, выдаваемую конденсаторными батареями по формуле (31):

$$Q_{НК} = Q_{p\Sigma} - Q_T \quad (31)$$

Используя формулу (31) определяем реактивную мощность, выдаваемую конденсаторными батареями:

$$Q_{\text{НК}} = 156,2 - 88,5 = 66,7 \text{ квар}$$

Принимаем к установке одну батарею мощностью 70 квар. Батарея показана на рисунке 5.



Рисунок 5 – Шкаф батареи конденсаторов

Определим число часов максимальных потерь по формуле (32):

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{М}}}{10000}\right)^2 \cdot T_{\text{р}} \quad (32)$$

где  $T_{\text{р}}$  – время работы трансформатора, ч.

Используя формулу (32) определяем число часов максимальных потерь:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{3500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 1968 \text{ ч}$$



Определим стоимость максимальных потерь активной мощности за год по формуле (33):

$$C = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau \quad (33)$$

Используя формулу (33) определяем стоимость максимальных потерь активной мощности за год:

$$C = \left( \frac{5000}{3500} + 1,1 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 1968 = 2,8 \text{ тыс. } \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$$

Определим удельную стоимость потерь холостого хода трансформатора по формуле (34):

$$C_0 = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p \quad (34)$$

Используя формулу (34) определяем удельную стоимость потерь холостого хода трансформатора:

$$C_0 = \left( \frac{5000}{3500} + 1,1 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 12,6 \text{ тыс. } \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$$

Определим стоимость потерь активной мощности в трансформаторах по формуле (35):

$$C_{\Delta P_T} = N_T \cdot (C_0 \cdot \Delta P_{XX} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{K3}) \quad (35)$$

Используя формулу (35) определяем стоимость потерь активной мощности в трансформаторах:

$$C_{\Delta P_T} = 2 \cdot (12,6 \cdot 0,26 + 2,8 \cdot 0,7^2 \cdot 1,97) = 12,0 \text{ тыс. } \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$$

Определим затраты на комплектную трансформаторную подстанцию и компенсирующие устройства по формуле (36):

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot (N_T \cdot K_T + N_K \cdot K_{\text{КУ}}) \quad (36)$$

где  $E$  – суммарный коэффициент отчислений от капиталовложений;

$K_T$  – стоимость трансформатора, тыс. руб.;

$N_K$  – число батарей конденсаторов, шт.;

$K_{\text{КУ}}$  – стоимость конденсаторных батарей, тыс. руб.

Используя формулу (36) определяем затраты на комплектную трансформаторную подстанцию и компенсирующие устройства:

$$Z_{\text{КТП}} = 0,338 \cdot (2 \cdot 89,0 + 2 \cdot 38,0) + 12,0 = 97,9 \text{ тыс. руб.}$$

Устанавливаемое оборудование представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Устанавливаемое оборудование

| Наименование      | Количество |
|-------------------|------------|
| ТМГ-100/10 УХЛ1   | 2          |
| АУКРМ-0,4-70 УХЛЗ | 1          |

Выводы по разделу. В данном разделе выполнен выбор цеховых трансформаторов а также определены параметры компенсации реактивной мощности.

#### 4 Выбор схемы электроснабжения цеха и предприятия

При выборе и построении схем внутрицехового, внутризаводского электроснабжения используется НТП ЭПП-94, ПУЭ, ГОСТ 21.210-2014 [8-12].

Влияющими факторами на схему внутрицехового электроснабжения являются:

- условия окружающей среды;
- план расположения технологического оборудования;
- требования по бесперебойности электроснабжения;
- количество и расположение цеховых ТП;
- вероятность изменения технологического процесса

Характеристики инструментального цеха представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики инструментального цеха

| Параметр                                   | Показатели   |
|--|--|
| Окружающая среда                           | Отсутствует проводящая пыль, химически агрессивная среда, отсутствуют взрыво- и пожароопасные зоны |
| Расположение технологического оборудования | Технологическое оборудование расположено группами, как представлено на рисунке 2.1                 |
| Категория надежности электроснабжения      | Присутствуют ЭП 2 и 3 категории по надежности электроснабжения                                     |
| Количество цеховых ТП                      | Одна двухтрансформаторная ТП мощностью 100 кВА   |

С учетом расположения технологического оборудования и условий окружающей среды для данного предприятия применима магистрально-радиальная питающая сеть и радиальная распределительная сеть выполненная кабелем марки ААБл который прокладывается в траншее.

Распределение ЭП по источникам питания приведено в таблице 7.

Таблица 7 – Распределение ЭП по источникам питания

| Источник питания  | Наименование ЭП                   | Номер на плане | $K_{\Pi}$ | $K_{\Pi P}$ |
|-------------------|-----------------------------------|----------------|-----------|-------------|
| ЩС-1              | Наждачные станки                  | 50,51          | 0,14      | 0,7         |
|                   | Заточные станки                   | 48,49,52,53    | 0,14      | 1,6         |
| ЩС-2              | Алмазно-расточные станки          | 44,45          | 0,14      | 1,3         |
|                   | Горизонтально-фрезерные станки    | 37,38          | 0,14      | 3,5         |
|                   | Токарно-револьверный станок       | 31             | 0,17      | 3,4         |
|                   | Поперечно-строгальный станок      | 46             | 0,17      | 2,8         |
|                   | Кран-балки                        | 39,47          | 0,35      | 5,3         |
| ЩС-3              | Алмазно-расточные станки          | 19,20          | 0,14      | 1,3         |
|                   | Горизонтально-фрезерные станки    | 21,22          | 0,14      | 3,5         |
|                   | Одношпиндельные автоматы токарные | 32,33,34       | 0,14      | 0,9         |
|                   | Заточные станки                   | 42,43          | 0,14      | 0,8         |
|                   | Наждачные станки                  | 35,36          | 0,14      | 0,7         |
|                   | Поперечно-строгальные станки      | 40,41          | 0,17      | 5,8         |
|                   | Токарно-револьверные станки       | 28,29          | 0,17      | 6,8         |
| Токарные автоматы | 26,27                             | 0,17           | 18,7      |             |
| ЩС-4              | Поперечно-строгальные станки      | 1,2            | 0,17      | 5,8         |
|                   | Токарно-револьверные станки       | 3,5-7          | 0,17      | 13,6        |
|                   | Одношпиндельные автоматы токарные | 4,8            | 0,14      | 0,7         |
| ВРУ               | Токарные автоматы                 | 9-15           | 0,17      | 65,4        |
|                   | Алмазно-расточные станки          | 16,17          | 0,14      | 1,3         |
|                   | Горизонтально-фрезерные станки    | 18,23,24,25    | 0,14      | 7,0         |
|                   | Токарно-револьверный станок       | 30             | 0,17      | 3,4         |

Расчетные нагрузки ЩС представлены в таблице 8

Таблица 8 – Расчетные нагрузки ЦС

| Исходные данные       |                              |  |      |                                       | Расчетные величины |                             |           | Эффективное число<br>ЭП·<br>$n_s = (\sum P_n)^2 / \sum n p_n^2$                | Коэффициент<br>расчетной<br>нагрузки<br>$K_p$ | Расчетная мощность                        |   |   | Расчетный ток, А<br>$I_p = S_p / (\sqrt{3} U_n)$ |      |
|-----------------------|------------------------------|--|------|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------|--|---|---|---|---|--|------|
| по заданию технологов |                              | по справочным данным   |      |                                       | $K_u P_n$          | $K_u P_n \text{tg} \varphi$ | $n p_n^2$ |  |   | активная, кВт<br>$P_p = K_p \sum K_u P_n$ | реактивная,<br>квар·<br>$Q_p = 1,1 \sum K_u P_n \text{tg} \varphi$<br>при $n_s \leq 10$ ;<br>$Q_p = \sum K_u P_n \text{tg} \varphi$<br>при $n_s > 10$ | полная, кВт·А<br>$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$ |  |      |
| Наименование<br>ЭП    | Количество<br>ЭП, шт.<br>$n$ | Номинальная<br>(установленная)<br>мощность, кВт·<br>одного ЭП<br>$P_n$ |      | коэффициент<br>использования<br>$K_u$ |                    |                             |           | коэффициент<br>реактивной<br>мощности<br>$\cos \varphi$<br>$\text{tg} \varphi$ |   |   |   |   |  |      |
| ЩС-1                  |                              |  |      |                                       |                    |                             |           |  |   |   |   |   |  |      |
| НС                    | 2                            | 2,5  | 5    | 0,14                                  | 0,5/1,73           | 0,7                         | 1,2       | 12,5   | 5   | 2,09                                      | 5,2   | 4,5   | 6,9  | 10,0 |
| ЗС                    | 4                            | 3  | 12   | 0,14                                  | 0,5/1,73           | 1,7                         | 2,9       | 36   |   |   |   |   |  |      |
| Итого по ЩС           | 6                            | 3/2,5  | 17   | 0,14                                  | -/1,73             | 2,4                         | 4,1       | 48,5   |   |   |   |   |  |      |
| ЩС-2                  |                              |  |      |                                       |                    |                             |           |  |   |   |   |   |  |      |
| АРС                   | 2                            | 4,8  | 9,6  | 0,14                                  | 0,5/1,73           | 1,3                         | 2,2       | 46,1   | 6   | 1,62                                      | 26,4  | 27,0  | 37,7   | 54,5 |
| ГФС                   | 2                            | 12,5   | 25   | 0,14                                  | 0,5/1,73           | 3,5                         | 6,1       | 312,5  |   |   |   |   |  |      |
| ТРС                   | 1                            | 20   | 20   | 0,17                                  | 0,65/1,17          | 3,4                         | 3,9       | 400  |   |   |   |   |  |      |
| ППС                   | 1                            | 17   | 17   | 0,17                                  | 0,65/1,17          | 2,8                         | 3,2       | 289  |   |   |   |   |  |      |
| КБ                    | 2                            | 7,7  | 15,4 | 0,35                                  | 0,5/1,73           | 5,3                         | 9,1       | 118,6  |   |   |   |   |  |      |
| Итого по ЩС           | 8                            | 20/4,8   | 87   | 0,19                                  | -/                 | 16,<br>3                    | 24,5      | 1166,<br>2   |   |   |   |   |  |      |
| ЩС-3                  |                              |  |      |                                       |                    |                             |           |  |   |   |   |   |  |      |
| АРС                   | 2                            | 4,8  | 9,6  | 0,14                                  | 0,5/1,73           | 1,3                         | 2,2       | 46,1   | 6   | 1,62                                      | 26,4  | 27,0  | 37,7   | 54,5 |
| ГФС                   | 2                            | 12,5   | 25   | 0,14                                  | 0,5/1,73           | 3,5                         | 6,1       | 312,5  |   |   |   |   |  |      |
| ОАТ                   | 3                            | 2,2  | 6,6  | 0,14                                  | 0,5/1,73           | 0,9                         | 1,6       | 14,5   |   |   |   |   |  |      |
| ЗС                    | 2                            | 3  | 6    | 0,14                                  | 0,5/1,73           | 0,8                         | 1,4       | 18   |   |   |   |   |  |      |
| НС                    | 2                            | 2,5  | 5    | 0,14                                  | 0,5/1,73           | 0,7                         | 1,2       | 12,5   |   |   |   |   |  |      |
| ППС                   | 2                            | 17   | 34   | 0,17                                  | 0,65/1,17          | 5,8                         | 6,8       | 578  |   |   |   |   |  |      |
| ТРС                   | 2                            | 20   | 40   | 0,17                                  | 0,65/1,17          | 6,8                         | 8         | 800  |   |   |   |   |  |      |
| ТА                    | 2                            | 55   | 110  | 0,17                                  | 0,65/1,17          | 18,<br>7                    | 21,8      | 6050   |   |   |   |   |  |      |

Продолжение таблицы 8

| Исходные данные       |                           |  |       |                                    | Расчетные величины |                              |           | Эффективное число ЭП·<br>$n_s = (\sum P_n)^2 / \sum n p_n^2$ | Коэффициент расчетной нагрузки<br>$K_p$ | Расчетная мощность                        |  |  | Расчетный ток,<br>А<br>$I_p = S_p / (\sqrt{3} U_n)$ |  |
|-----------------------|---------------------------|--|-------|------------------------------------|--------------------|------------------------------|-----------|--|---|---|--|--|---|--|
| по заданию технологов |                           | по справочным данным   |       |                                    | $K_u P_n$          | $K_u P_n \text{tg } \varphi$ | $n P_n^2$ |  |   | активная, кВт<br>$P_p = K_p \sum K_u P_n$ | реактивная, квар·<br>$Q_p = 1,1 \sum K_u P_n \text{tg } \varphi$<br>при $n_s \leq 10$ ;<br>$Q_p = \sum K_u P_n \text{tg } \varphi$<br>при $n_s > 10$ | полная, кВ·А<br>$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$ |   |  |
| Наименование ЭП       | Количество ЭП, шт.<br>$n$ | Номинальная (установленная) мощность, кВт·<br>одного ЭП<br>$p_n$ |       | коэффициент использования<br>$K_u$ |                    |                              |           |  |   |   |  |  |   | коэффициент реактивной мощности<br>$\frac{\cos \varphi}{\text{tg } \varphi}$ |
| Итого по ЦС           | 17                        | 55/2,5   | 236,2 | 0,16                               | -/                 | 38,5                         | 49,1      | 7831,6   | 7                                       | 1,86                                      | 71,6   | 54,0   | 89,7  | 129,6  |
| ЦС-4                  |                           |  |       |                                    |                    |                              |           |  |   |   |  |  |   |  |
| ППС                   | 2                         | 17   | 34    | 0,17                               | 0,65/1,17          | 5,8                          | 6,8       | 578  |   |   |  |  |   |  |
| ТРС                   | 4                         | 20   | 80    | 0,17                               | 0,65/1,17          | 13,6                         | 15,9      | 1600   |   |   |  |  |   |  |
| ОАТ                   | 2                         | 2,2  | 4,4   | 0,14                               | 0,5/1,73           | 0,6                          | 1,0       | 9,7  |   |   |  |  |   |  |
| Итого по ЦС           | 8                         | 20/2,2   | 118,4 | 0,16                               | -/                 | 20                           | 23,7      | 2187,7   | 6                                       | 1,96                                      | 46,5   | 26,1   | 53,3  | 59,3   |
| ШР-1                  |                           |  |       |                                    |                    |                              |           |  |   |   |  |  |   |  |
| ТА                    | 7                         | 55   | 385   | 0,17                               | 0,65/1,17          | 65,5                         | 76,6      | 2117,5   |   |   |  |  |   |  |
| АРС                   | 2                         | 4,8  | 9,6   | 0,14                               | 0,5/1,73           | 1,3                          | 2,2       | 46,1   |   |   |  |  |   |  |
| ГФС                   | 4                         | 12,5   | 50    | 0,14                               | 0,5/1,73           | 7                            | 12,1      | 625  |   |   |  |  |   |  |
| ТРС                   | 1                         | 20   | 20    | 0,17                               | 0,65/1,17          | 3,4                          | 4,0       | 400  |   |   |  |  |   |  |
| Итого по ШРА-1        | 14                        | 55/4,8   | 465   | 0,16                               | -/                 | 77,2                         | 94,9      | 2224,6,1   | 9                                       | 1,71                                      | 132,0  | 104,3  | 168,3   | 243,2  |

Выводы по разделу. В данном разделе выпускной квалификационной работы с использованием требований и норм НТП ЭПП-94, ПУЭ, ГОСТ 21.210-2014 определен тип схемы электроснабжения инструментального цеха и предприятия в целом. В выпускной квалификационной работе принята магистрально-радиальная схема электроснабжения, сочетающая в себе преимущества как радиальной, так и магистральной схем электроснабжения.

При выборе схемы электроснабжения инструментального цеха и предприятия в целом учтены условия окружающей среды, а также расположение оборудования на площади в инструментальном цехе.

Также в этом разделе выпускной квалификационной работы было выполнено распределение электроприемников инструментального цеха по силовым щитам.

## 6 Расчет токов КЗ

Расчет проводится по ГОСТ 28249-93. Определяется ток трехфазного КЗ для самого мощного электроприемника цеха, далее по этому значению проверяются все коммутационные аппараты на отключающую способность и электродинамическую стойкость. Расчетная схема приведена на рисунке 6, схема замещения на рисунке 7 [13-17].

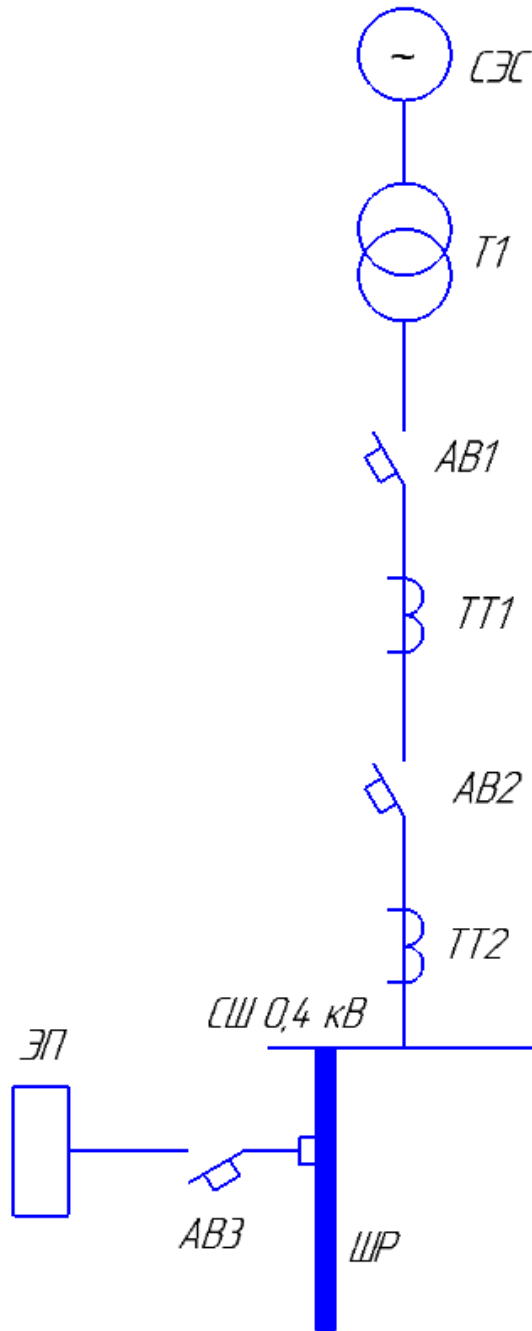


Рисунок 6 – Расчетная схема



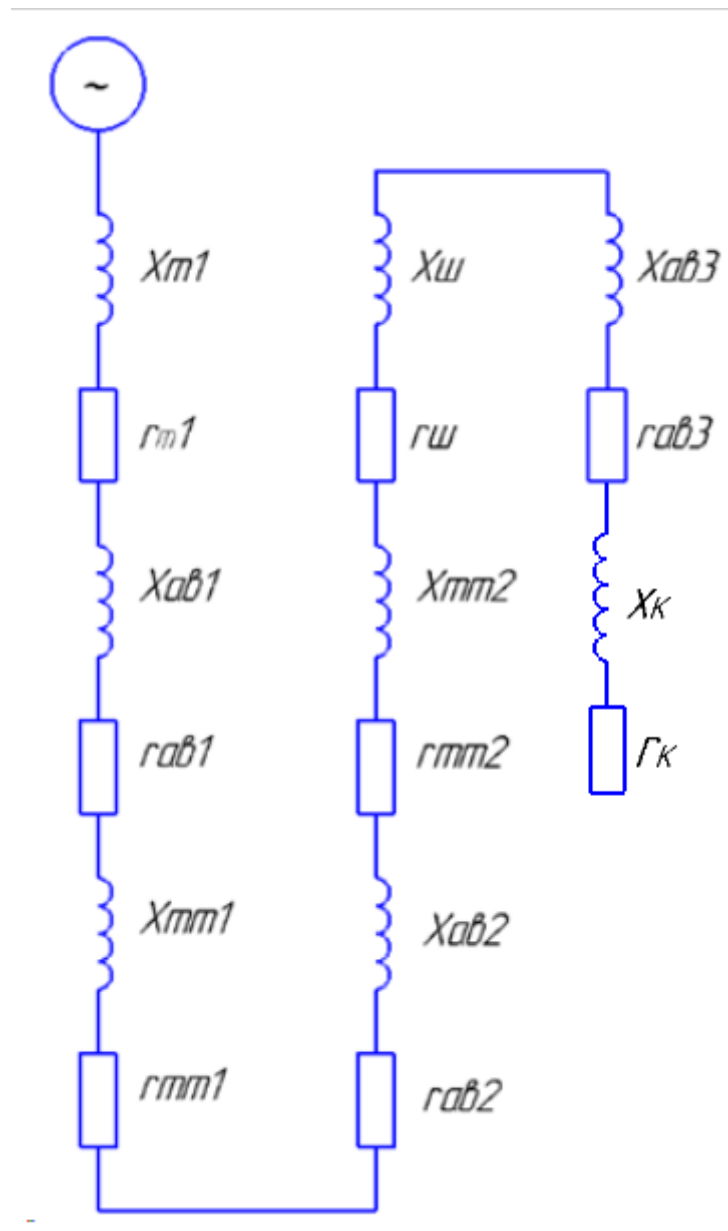


Рисунок 7 – Схема замещения

Вначале определим активное и сопротивление трансформатора Т1 по формуле (37):

$$r_T = \frac{P_{кз} \cdot U_{н.ном}^2}{S_T^2} \quad (37)$$

$r_T$  – Активное сопротивление трансформатора, Ом.

Активное сопротивление трансформатора равно:

$$r_T = \frac{2,9 \cdot 0,4^2}{160^2} = 0,000018 \text{ Ом}$$

Определим реактивное сопротивление трансформатора Т1 по формуле (38):

$$x_T = \sqrt{u_K^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{K3}}{S_T}\right)^2} \cdot \frac{U_{H.NOM}^2}{S_T} \quad (38)$$

$x_T$  – реактивное сопротивление трансформатора, Ом.

$$x_T = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 2,9}{160}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{160} = 0,004 \text{ Ом}$$

Определим активное сопротивление кабеля К1 по формуле (39):

$$r_K = c_0 r_0 l \quad (39)$$

$c_0$  – коэффициент увеличения сопротивления кабеля при нагреве;

$r_0$  – погонное активное сопротивление кабеля, Ом/м;

$l$  – длина кабеля, м.

Определяем активное сопротивление кабеля К1 по формуле (39):

$$r_K = 1,5 \cdot 0,11 \cdot 2 = 0,3 \text{ Ом}$$

Определим реактивное сопротивление кабеля К1 по формуле (40):

$$x_K = x_0 l \quad (40)$$

$x_0$  – Погонное реактивное сопротивление кабеля, Ом/м.

$$x_K = 0,0079 \cdot 2 = 0,02 \text{ Ом}$$

Определим активное сопротивление шинпровода ШР по формуле (41):

$$r_{\text{ш}} = \rho \vartheta_{\text{норм}} \cdot \frac{l}{S} \cdot \frac{T + \vartheta}{T + \vartheta_{\text{норм}}} \cdot K_{\text{д}} \quad (41)$$

Используя формулу (41) определяем сопротивление шинпровода ШР:

$$r_{\text{ш}} = 0,027 \cdot \frac{30}{62,5} \cdot \frac{236 + 25}{236 + 20} \cdot 1,02 = 0,01 \text{ Ом}$$

Определим реактивное сопротивление шинпровода ШР по формуле (42):

$$x_{\text{ш}} = 0,145 \lg \frac{d}{g_0} \quad (42)$$

Среднее геометрическое расстояние между шинами определяем по формуле (43):

$$g_0 = 0,22(b + h) \quad (43)$$

Используя формулу (43) определяем геометрическое расстояние между шинами:

$$g_0 = 0,22 \cdot (25 + 2,5) = 6,05$$

Теперь определяем реактивное сопротивление шинпровода по формуле (42):

$$x_{\text{ш}} = 0,145 \cdot \lg \frac{7}{6,05} = 0,0087 \text{ Ом}$$

Определим суммарные активное и реактивное сопротивление по формулам (44) и (45):

$$r_{\Sigma} = r_T + r_{ш} + r_{ав} + r_{ТТ} + r_{ТТ} + r_{конт} + r_K \quad (44)$$

$$x_{\Sigma} = x_T + x_{ш} + x_{ав} + x_{ТТ} + x_{ТТ} + x_{конт} + x_K \quad (45)$$

Используя формулы (44) и (45) определяем суммарные активное и реактивное сопротивление:

$$r_{\Sigma} = 0,000018 + 0,01 + 0,03 + 0,2 + 0,1 + 0,3 = 0,46 \text{ Ом}$$

$$x_{\Sigma} = 0,004 + 0,0087 + 0,01 + 0,01 + 0,02 = 0,05 \text{ Ом}$$

Определим начальное значение периодической составляющей ТКЗ по формуле (46):

$$I_{п0} = \frac{U_{\text{ср.нн.}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}} \quad (46)$$

Используя формулу (46) определяем значение периодической составляющей ТКЗ:

$$I_{п0} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,46^2 + 0,05^2}} = 506 \text{ А}$$

Результаты расчетов и проверки выключателей и трансформатор тока приведены в таблицах 9, трансформаторов тока в таблице 10.

Таблица 9 – Проверка выключателей на отключающую способность

| Тип                    | Наибольший ток КЗ, кА | Отключающая способность, кА |
|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| IEK 1п C/ 6A BA 47-29  | 1,0                   | 4,5                         |
| IEK 1п C/ 10A BA 47-29 |                       |                             |
| IEK 3п C/ 16A BA 47-29 |                       |                             |
| IEK 3п C/ 25A BA 47-29 |                       |                             |
| IEK 4п C/ 63A BA 47-29 |                       |                             |
| BA-CЭЩ-AC              | 2,9                   | 65,0                        |
| BA-CЭЩ-AC              |                       |                             |

Таблица 10 – Проверка трансформаторов тока на электродинамическую стойкость

| Тип     | Наибольший ток КЗ, кА | Ток электродинамической стойкости, кА |
|---------|-----------------------|---------------------------------------|
| ТШЛ-СЭЩ | 2,9                   | 15,0                                  |

Выводы по разделу. В разделе определены параметры токов короткого замыкания, ток равен 506 А.

## 6 Выбор оборудования

### 6.1 Выбор проводов и кабелей

Выбор проводников проводится согласно гл. 1.3 ПУЭ. Проведем выбор провода питающего ЩС-1. Допустимый длительный ток определяется по таблице 1.3.4. ПУЭ Выбираем сечение жилы равное 1 мм<sup>2</sup>. Выбираем из каталога провод ВВГ(А)нг-LS 2х1. Расчетные данные и марки проводов приведены в таблице 11 [18-20].

Таблица 11 – Расчетные данные и марки проводов питающей сети

| Расчетный ток, А | Сечение жилы, мм <sup>2</sup> | Длительно допустимый ток, А | Марка провода    | Линия     |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|-----------|
| 10,0             | 1,0                           | 17                          | ВВГнг(А)-LS 2х1  | ВРУ-ЩС-1  |
| 184,1            | 50                            | 215                         | ВВГнг(А)-LS 4х50 | ВРУ-ЩС-2  |
| 129,6            | 25                            | 140                         | ВВГнг(А)-LS 4х25 | ЩС-2-ЩС-3 |
| 59,3             | 10                            | 80                          | ВВГнг(А)-LS 3х10 | ВРУ-ЩС-4  |
| 243,2            | 25х2,5                        | 265                         | ШРА-4            | ВРУ-ШРА   |

Ток, протекающий по распределительной линии определяется по формуле (47):

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} \quad (47)$$

Определим ток линии ЩС-2-петельная машина по формуле (47):

$$I_p = \frac{1,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,5} = 3,7 \text{ А}$$

В таблице 12 представлена информация о кабелях распределительной сети.

Таблица 12 – Расчетные данные и марки проводов распределительной сети

| Источник питания | Электроприемник                 | Расчетный ток, А | Сечение жилы, мм <sup>2</sup> | Допустимый ток, А | Марка провода       |
|------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------|
| ЩС-1             | Заточный станок                 | 2,0              | 0,75                          | 11,0              | ВВГэнг<br>2х0,75    |
|                  | Наждачный станок                | 5,0              | 0,75                          | 11,0              | ВВГэнг<br>2х0,75    |
| ЩС-2             | Алмазно-расточный станок        | 3,7              | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-<br>LS 3х1 |
|                  | Горизонтально-фрезерный станок  | 10,1             | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-<br>LS 3х1 |
|                  | Токарно-револьверный станок     | 7,6              | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-<br>LS 3х1 |
|                  | Поперечно-строгальный станок    | 13,0             | 1,0                           | 17,0              | ВВГнг(А)-<br>LS 3х1 |
|                  | Кран-балка                      | 17,4             | 1,5                           | 23,0              | КГтп<br>3х1,5       |
|                  | Троллейный шинопровод           | 46,0             | 15х3                          | 216,0             | LSV 4/14-<br>4 HS   |
| ЩС-3             | Алмазно-расточный станок        | 3,7              | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-<br>LS 3х1 |
|                  | Горизонтально-фрезерный станок  | 10,1             | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-<br>LS 3х1 |
|                  | Одношпindelный автомат токарный | 1,7              | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-<br>LS 3х1 |
|                  | Заточный станок                 | 2,0              | 1                             | 17                | ВВГ(А)нг<br>2х1     |

Продолжение таблицы 12

| Источник питания | Электроприемник                  | Расчетный ток, А | Сечение жилы, мм <sup>2</sup> | Допустимый ток, А | Марка провода    |
|------------------|----------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|
|                  | Наждачный станок                 | 5,0              | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-LS 2x1  |
|                  | Поперечно-строгальный станок     | 13,0             | 1,0                           | 17                | ВВГнг(А)-LS 3x1  |
|                  | Токарно-револьверный станок      | 7,6              | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-LS 3x1  |
|                  | Токарный автомат                 | 146,0            | 35                            | 170               | ВВГнг(А)-LS 3x35 |
| ЩС-4             | Поперечно-строгальный станок     | 13,0             | 1,0                           | 17                | ВВГнг(А)-LS 3x1  |
|                  | Токарно-револьверный станок      | 7,6              | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-LS 3x1  |
|                  | Одношпиндельный автомат токарный | 1,7              | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-LS 3x1  |
| ШРА              | Алмазно-расточный станок         | 3,7              | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-LS 3x1  |
|                  | Горизонтально-фрезерный станок   | 10,1             | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-LS 3x1  |
|                  | Токарно-револьверный станок      | 7,6              | 1                             | 17,0              | ВВГнг(А)-LS 3x1  |
|                  | Токарный автомат                 | 146,0            | 35                            | 170               | ВВГнг(А)-LS 3x35 |

## 6.2 Выбор способа прокладки электропроводки

Выбор способа прокладки электропроводки зависит от условий окружающей среды, а именно:

- 1) Взрыво- и пожароопасность;
- 2) Агрессивность среды;



- 3) Наличие проводящей пыли;
- 4) Влажность воздуха;
- 5) Архитектурные особенности здания (сооружения).

Электропроводка должна соответствовать гл. 2.1 ПУЭ.

На предприятии легкой промышленности отсутствуют взрыво- и пожароопасные зоны, отсутствует агрессивная среда, проводящая пыль [21-22].

Учитывая вышеприведенные условия окружающей среды, примем к монтажу электропроводку открытого типа. Питающие сети прокладываются в кабельных лотках, распределительные – в гибких рукавах. Перечень применяемых материалов приведен в таблице 13

Таблица 13 – Применяемые материалы

| Наименование                         | Марка                          |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Кабельный лоток 50x50x3000           | S5 Combitech                   |
| Защитный рукав                       | SILVYN FPAS PA6 21 / 16,7x21,2 |
| Коробка распределительная 100x100x50 | TYCO                           |
| Протяжной ящик                       | K-655                          |

### 6.3 Выбор коммутационных аппаратов и трансформаторов тока

В этом пункте выбираются коммутационные аппараты. Выбор коммутационных аппаратов осуществляется по номинальному току и по условиям КЗ. Выбранные коммутационные аппараты и трансформаторы тока приведены в таблицах 14 и 15.

Таблица 14 – Выбранные типы автоматических выключателей

| Источник питания | Электроприемник  | Номинальный ток ЭП, А | Тип аппарата | Марка | Номинальный ток аппарата, А |
|------------------|------------------|-----------------------|--------------|-------|-----------------------------|
| ЩС-1             | Заточный станок  | 2,0                   | AB           | IEK   | 6,0                         |
|                  | Наждачный станок | 5,0                   | AB           | IEK   | 10,0                        |

Продолжение таблицы 14

| Источник питания | Электроприемник                  | Номинальный ток ЭП, А | Тип аппарата | Марка  | Номинальный ток аппарата, А |
|------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------|--------|-----------------------------|
| ЩС-2             | Алмазно-расточный станок         | 3,7                   | АВ           | IEK    | 10,0                        |
|                  | Горизонтально-фрезерный станок   | 10,1                  | АВ           | IEK    | 16,0                        |
|                  | Токарно-револьверный станок      | 7,6                   | АВ           | IEK    | 16,0                        |
|                  | Поперечно-строгальный станок     | 13,0                  | АВ           | IEK    | 25,0                        |
|                  | Троллейный шинопровод            | 46,0                  | АВ           | IEK    | 63,0                        |
| ЩС-3             | Алмазно-расточный станок         | 3,7                   | АВ           | IEK    | 10,0                        |
|                  | Горизонтально-фрезерный станок   | 10,1                  | АВ           | IEK    | 16,0                        |
|                  | Одношпиндельный автомат токарный | 1,7                   | АВ           | IEK    | 6,0                         |
|                  | Заточный станок                  | 2,0                   | АВ           | IEK    | 6,0                         |
|                  | Наждачный станок                 | 5,0                   | АВ           | IEK    | 10,0                        |
| ЩС-4             | Поперечно-строгальный станок     | 13,0                  | АВ           | IEK    | 25,0                        |
|                  | Токарно-револьверный станок      | 7,6                   | АВ           | IEK    | 16,0                        |
|                  | Токарный автомат                 | 146,0                 | АВ           | ВА-СЭЦ | 160,0                       |
| ЩРА              | Алмазно-расточный станок         | 3,7                   | АВ           | IEK    | 10,0                        |
|                  | Горизонтально-фрезерный станок   | 10,1                  | АВ           | IEK    | 16,0                        |
|                  | Токарно-револьверный станок      | 7,6                   | АВ           | IEK    | 16,0                        |
|                  | Токарный автомат                 | 146,0                 | АВ           | ВА-СЭЦ | 160,0                       |
| ТП               | ВРУ                              | 305,9                 | АВ           | ВА-СЭЦ | 400,0                       |

Выбранные коммутационные аппараты должны соответствовать гл. 1.4 ПУЭ.

Таблица 15 – Выбранные трансформаторы тока

| Место установки | Номинальный первичный и вторичный ток трансформатора, А | Номинальное напряжение, кВ | Марка   |
|-----------------|---|----------------------------|---------|
| РУ 0,4 кВ       | 400/5   | 0,66                       | ТШЛ-СЭЩ |
| ВРУ 0,4 кВ      | 400/5   | 0,66                       | ТШЛ-СЭЩ |

#### 6.4 Выбор РУ

Выбранные РУ должны соответствовать требованиям гл. 4.1 и 4.2 ПУЭ.

Выбранные щитки представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Выбранные ЩС

| Номер ЩС | Наименование                             | Марка | Количество модулей DIN |
|----------|--|-------|------------------------|
| ЩС-1     | Щит распределительный навесной ЩРН-12з-1 | IEK   | 12                     |
| ЩС-2     | Щит распределительный навесной ЩРН-24з-1 | IEK   | 24                     |
| ЩС-3     | Щит распределительный навесной ЩРН-24з-1 | IEK   | 24                     |
| ЩС-4     | Щит распределительный навесной ЩРН-24з-1 | IEK   | 24                     |

В качестве вводно-распределительного устройства применим 3 блока НКУ-СЭЩ-М на напряжение 0,4 кВ. Параметры выбранного ВРУ приведены в таблице 17. На рисунке 8 представлено выбранное РУ [22-25].



Рисунок 8 – НКУ-СЭЩ-М

Таблица 17 – Параметры ВРУ

| Номинальное напряжение, кВ | Номинальный ток, А | Число присоединений | Тип коммутационных аппаратов |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|
| 0,4                        | 630-4000           | 4                   | ВА-СЭЩ-АС                    |

В качестве КТП примем КТПП-СЭЩ 10/0,4 кВ. Параметры приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Параметры КТП

| Марка трансформаторов | Число и мощность, кВА | Сечение сборных шин, мм | Схема подстанции                         |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| ТМГ-160/10            | 1x160                 | 25x3                    | Одиночная несекционированная система шин |

На рисунке 9 представлено оборудование цеховой ТП.



Рисунок 9 – KTPP-СЭЦ

Выводы по разделу. В этом разделе выполнен выбор автоматических выключателей, трансформаторов тока и оборудования для цеховой ТП.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе, тема которой «Проектирование электроснабжения группы цехов агрегатного завода» разработана система электроснабжения группы цехов агрегатного завода и подробно инструментального цеха.

При проектировании использовалась следующая НТД: ПУЭ, ПТЭЭП, ГОСТ 28249-93, ГОСТ 21.210-2014, ГОСТ 52719-2007, ГОСТ 53768-2010, РТМ 36.18.32.6-92, РТМ 36.18.32.4-92, НТП ЭПП-94, НТП ПСЭУ, НТП ПОУ, СНиП 23-05-95.

План-схема разработана с учетом расположения технологического оборудования, взрыво- и пожароопасности, влажности и температуры помещения. Электрические нагрузки в проекте определены согласно РТМ 36.18.32.4-92.

Выбор трансформаторов и конденсаторных установок производился на основе ТЭР, по его итогам к установке принимается один трансформатор с резервированием через кабель 0,4 кВ от ТП соседнего цеха. При расчетах применялся РТМ 36.18.32.6-92.

При выборе способа прокладки электропроводки предпочтение отдано открытой электропроводке. В качестве проводников питающей и распределительной сетей приняты кабели марки ВВГ(А)нг-LS. Для подвода питания к кран-балке используется гибкий кабель КГтп. Кабели питающей сети прокладываются на металлических лотках, распределительные сети прокладываются в гибких рукавах.

Выбраны автоматические выключатели, щитки, оборудование ВРУ, оборудование КТП. Принятая к монтажу проводка соответствует условиям ПУЭ.

Также были рассчитаны токи короткого замыкания, по результатам расчетов выполнена проверка автоматических выключателей на отключающую способность и трансформаторов тока на электродинамическую стойкость.

## Список используемых источников

1. Ананичева С.С. Проектирование электрических сетей. Екатеринбург: УрФУ, 2017. 164 с.
2. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. М.: Стандарт, 2007.
3. Ерошенко С.А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах: учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2019. 108 с.
4. Захаров В.А. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Екатеринбург: УрФУ, 2018. 236 с.
5. Земцов А.И. Проектирование главной понизительной подстанции предприятия: учебное пособие. Самара: СамГТУ, 2015. 102 с.
6. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Томск: ТПУ, 2007. 156 с.
7. Карякин Р.Н. Нормы устройства сетей заземления. М.: Энергосервис, 2019. 22 с.
8. Кимкетов М.М. Проектирование электрической подстанции. Черкесск: СевКавГГТА, 2018. 48 с.
9. Киреева Э.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие. М.: Академия, 2010. 288 с.
10. Китаев В.Е. Трансформаторы. М.: Высшая школа, 2014. 207 с.
11. Кокин С.Е. Схемы электрических соединений подстанций. Екатеринбург: УрФУ, 2015. 102 с.
12. Коломиец Н.В. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие. Томск: ТПУ, 2017. 146 с.
13. Мазуркевич В.Н. Проектирование заземляющих устройств ОРУ электрических станций и подстанций. Минск: БНТУ, 2012. 58 с.

14. Почаевец В.С. Электрические подстанции. Москва: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. 492 с.
15. Пустынников С.В. Теоретические основы электротехники. Часть 1. М.: Академия, 2017. 93 с.
16. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: учебное пособие. М.: Энергоиздат, 2018. 304 с.
17. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций. Москва: Академия. 2013. 449 с.
18. Самолина О.В. Релейная защита понизительной трансформаторной подстанции: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2017. 47 с.
19. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. Москва: Энергоатомиздат, 2017. 528 с.
20. Яковлев В.Н. Разъединители высоковольтные и приводы. Самара: СамГУПС, 2003. 35 с.
21. Mathebula V.C. Insulation performance enhancement of aged current transformers using nanofluids. Protection and control of modern power systems, №13, 2022. P. 55-65.
22. Ming Z. Adaptive relay coordination using a busbar splitting approach for a system integrity protection scheme. Protection and control of modern power systems, №14, 2022. P. 12-16.
23. Rashidul I. Improved voltage tracking of autonomous microgrid technology using a combined resonant controller with lead-lag compensator adopting negative imaginary theorem. Protection and control of modern power systems, №10, 2022. p. 32-39.
24. Saikrishna R. Reliability of IEC 61850 based substation communication network architecture considering quality of repairs and common cause failures: Optimal dual characteristic using numerical relays. Protection and control of modern power systems, №13, 2022. P. 101-105.



25 Siddiqui A.S. Optimal allocation and sizing of conglomerate DG-FACTS using an artificial neural network and heuristic probability distribution methodology for modern power system operationsh, №9, 2022. P. 105-108.