

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «ЗАВОД  
«ПРОФТЕРМО»

Обучающийся

С. Г. Осташкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И. В. Горохов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Актуальность данной работы заключается в том, что стабильное и качественное электроснабжение является основой для эффективной работы любого производственного предприятия. В условиях постоянного роста требований к производительности и надежности оборудования, а также повышенных стандартов безопасности, проектирование систем электроснабжения становится особенно важным. Таким образом, данная работа направлена на решение актуальной проблемы проектирования надежной и эффективной системы электроснабжения, что способствует не только улучшению производственных процессов, но и повышению конкурентоспособности предприятия в современных условиях.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения для ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО». Это предприятие, занимающееся производством и ремонтом специализированного оборудования, требует особого внимания к аспектам электроснабжения из-за высокой степени ответственности и возможных последствий от перебоев в энергоснабжении.

В соответствии с поставленной целью необходимо выполнить следующие задачи:

- провести анализ объекта проектирования;
- рассчитать электрические нагрузки;
- выбрать силовые трансформаторы цеховой ТП;
- выбрать кабельные линии в цехе;
- выбрать электрооборудование цеха;
- рассчитать контур заземления ТП.

Выпускная квалификационная работа включает в себя 63 листа текста, 4 рисунка, 12 таблиц и графической части на 6 листах формата А1, списка используемой литературы из 25 наименований.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 4  |
| 1 Анализ объекта проектирования .....                         | 6  |
| 2 Расчет электрических нагрузок .....                         | 10 |
| 2.1 Расчет системы освещения цеха .....                       | 10 |
| 2.2 Расчет электрических нагрузок.....                        | 16 |
| 3 Выбор силовых трансформаторов цеховой ТП .....              | 26 |
| 4 Выбор кабелей цеха .....                                    | 36 |
| 5 Расчет токов КЗ и выбор электрооборудования цеха .....      | 40 |
| 5.1 Расчет токов короткого замыкания.....                     | 40 |
| 5.2 Выбор защитной аппаратуры цеха.....                       | 48 |
| 6 Расчет контура заземления ТП .....                          | 57 |
| Заключение .....  | 60 |
| Список используемой литературы и используемых источников..... | 62 |

## Введение

Эффективное электроснабжение является ключевым аспектом функционирования производственных предприятий, так как от него зависит не только стабильность работы оборудования, но и безопасность сотрудников. В условиях современного производства, где технологические процессы становятся всё более сложными, необходимость в надежной и высококачественной системе электроснабжения возрастает.

Актуальность данной работы заключается в том, что стабильное и качественное электроснабжение является основой для эффективной работы любого производственного предприятия. В условиях постоянного роста требований к производительности и надежности оборудования, а также повышенных стандартов безопасности, проектирование систем электроснабжения становится особенно важным. Таким образом, данная работа направлена на решение актуальной проблемы проектирования надежной и эффективной системы электроснабжения, что способствует не только улучшению производственных процессов, но и повышению конкурентоспособности предприятия в современных условиях.

В работе будут рассмотрены основные принципы проектирования электрических систем, включая выбор необходимого оборудования, расчет нагрузок и проектирование схемы электроснабжения. Особое внимание будет уделено вопросам безопасности, энергоэффективности и соответствия действующим нормам и стандартам.

Объектом исследования является ремонтный цех ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО». Предмет исследования – система электроснабжения в ремонтном цехе ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО».

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения для ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО». Это предприятие, занимающееся производством и ремонтом специализированного оборудования, требует особого внимания к

аспектам электроснабжения из-за высокой степени ответственности и возможных последствий от перебоев в энергоснабжении.

В соответствии с поставленной целью необходимо выполнить следующие задачи:

- провести анализ объекта проектирования;
- рассчитать электрические нагрузки;
- выбрать силовые трансформаторы цеховой ТП;
- выбрать кабельные линии в цехе;
- выбрать электрооборудование цеха;
- рассчитать контур заземления ТП.

Практическая значимость работы состоит в возможности применить результаты работы для разработки реального проекта ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО».

В результате выполнения данной работы будет предложено оптимальное решение, обеспечивающее надежное и безопасное электроснабжение ремонтного цеха, что в свою очередь позволит повысить производительность и снизить затраты на эксплуатацию.

Таким образом, данная выпускная квалификационная работа не только отвечает актуальным требованиям современного производства, но и способствует повышению конкурентоспособности ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО» в условиях динамично развивающегося рынка.

## **1 Анализ объекта проектирования**

«ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО» образовано в 2002 году с целью оказания услуг по термической обработке деталей и заготовок.

В настоящее время ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО» располагает следующей производственной базой: три участка для объёмной и химико–термической обработки с возможностью закалки, как на масло, так и на полимерные закалочные растворы на водной основе. В состав данных участков входят шахтные печи, камерные печи с защитной атмосферой, конвейерные печи с защитной атмосферой, вспомогательное оборудование» [10].

«В сентябре 2018 года предприятие запустило высокотехнологичную автоматизированную линию камерных печей, обеспечивающую выполнение всех требований российских и европейских стандартов менеджмента качества, а также увеличение производственных мощностей до 40 %» [10].

«Так же ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО» имеет в своём составе два участка термической обработки с применением индукционного нагрева (ТВЧ), которые оснащены следующим оборудованием: 9 установок ТВЧ с разными техническими параметрами со специализированными и универсальными технологическими станками для обработки деталей различной конфигурации, позволяющие выполнять закалку от минимальных до максимальных слоёв с высокой твёрдостью. Производственная мощность всего вышеперечисленного оборудования достигает 650 тн/месяц» [10].

«Для проведения ремонта оборудования предприятия собственными силами в настоящее время планируется сооружение собственного ремонтного цеха, электроснабжение которого будет рассматриваться в данной работе» [10].

Силовые потребители электроэнергии рассматриваемого в работе цеха подключены от электросети, которая характеризуется напряжением в 380 Вольт. Стоит сказать о том, что потребители электрической энергии этого

структурного подразделения по такому критерию, как степень надежности электропитания, являются 2-й категории. Схема питания электроприемников смешанная, принята с учетом технологического процесса производства, категории надежности электроснабжения, взаимным размещением ввода питания и потребителей электроэнергии, их единичной номинальной мощностью и расположением по площади ремонтного цеха.

Распределительная электрическая сеть данного структурного подразделения предприятия изготовлена из кабелей такой марки, как ВВГ. Что же касается ее режима функционирования, то он является глухозаземленным. Для приема и распределения электроэнергии устанавливаются четыре узла питания. В качестве узлов питания применяются распределительные шкафы ПР8501.

Генплан цеха приведен на рисунке 1.

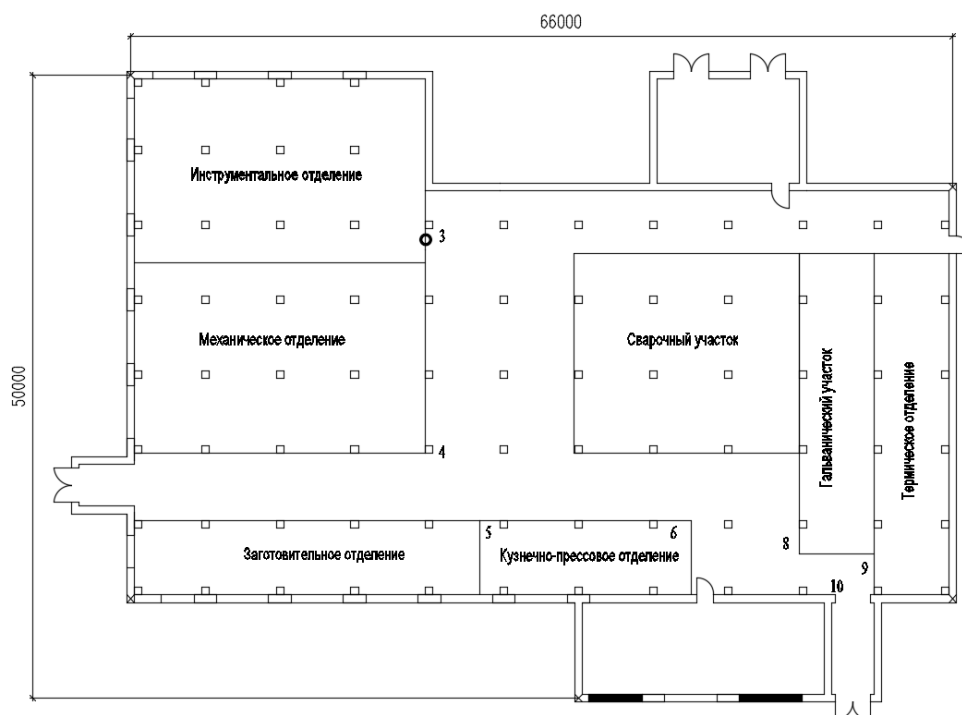


Рисунок 1 – Генплан цеха

«Ведомость электрооборудования, которое планируется установить в производственном цехе, приведена в таблице 1» [1].

Таблица 1 – Ведомость электрооборудования

| Наименование узлов СЭС и электроприемников     | n | P <sub>НОМ</sub> , кВт | КиА  | cosφ |
|--|---|------------------------|------|------|
| Инструментальное отделение                     | – | –                      | –    | –    |
| Токарно–затыловочные станки                    | 1 | 3,8                    | 0,15 | 0,40 |
| Универсально–фрезерные станки                  | 3 | 7                      | 0,15 | 0,40 |
| Настольно– фрезерные станки                    | 4 | 0,6                    | 0,15 | 0,40 |
| Вертикально–сверлильные станки                 | 2 | 2,8                    | 0,15 | 0,40 |
| Радиально–сверлильные станки                   | 4 | 1,7                    | 0,15 | 0,40 |
| Широкоуниверсальный фрезерные станки           | 1 | 1,7                    | 0,15 | 0,40 |
| Токарно–винторезные станки                     | 2 | 4,5                    | 0,15 | 0,40 |
| Координатно–расточные станки                   | 2 | 1,27                   | 0,15 | 0,40 |
| Внутришлифовальные станки                      | 2 | 4,5                    | 0,35 | 0,60 |
| Плоскошлифовальные станки                      | 3 | 1,7                    | 0,35 | 0,60 |
| Круглошлифовальные станки                      | 1 | 2,8                    | 0,35 | 0,60 |
| Обдирочно–шлифовальные станки                  | 2 | 1,7                    | 0,35 | 0,60 |
| Полуавтомат для заточки сверл и зенкеров       | 1 | 2,825                  | 0,15 | 0,40 |
| Универсально–заточные станки                   | 3 | 1,4                    | 0,15 | 0,40 |
| Резьбошлифовальный станок                      | 1 | 4,91                   | 0,35 | 0,60 |
| Тельфер  | 1 | 0,5                    | 0,15 | 0,50 |
| Кран–балка                                     | 2 | 2,8                    | 0,20 | 0,50 |
| Механическое отделение                         | – | –                      | –    | –    |
| Резьбонакатный полуавтомат с круглыми роликами | 2 | 2,8                    | 0,15 | 0,40 |
| Точильный станок двусторонний                  | 4 | 1,7                    | 0,15 | 0,40 |
| Токарно–винторезные станки                     | 1 | 11,125                 | 0,15 | 0,40 |
| Токарно–винторезные станки                     | 3 | 4,5                    | 0,15 | 0,40 |
| Токарно–винторезные станки                     | 4 | 7                      | 0,15 | 0,40 |
| Вертикально–фрезерные станки                   | 2 | 4,5                    | 0,15 | 0,40 |
| Универсально–фрезерные станки                  | 1 | 1,7                    | 0,15 | 0,40 |
| Горизонтально–фрезерные станки                 | 3 | 8,7                    | 0,15 | 0,40 |
| Вертикально–сверлильные станки                 | 1 | 4,625                  | 0,15 | 0,40 |
| Опиловочный станок                             | 2 | 1                      | 0,15 | 0,40 |
| Поперечно–строгальный станок                   | 1 | 4,5                    | 0,15 | 0,40 |
| Универсально–круглошлифовальный станок         | 1 | 5,625                  | 0,35 | 0,60 |
| Долбежный станок                               | 2 | 3,8                    | 0,15 | 0,40 |
| Плоскошлифовальный станок                      | 1 | 2,8                    | 0,35 | 0,60 |
| Кран–балка                                     | 1 | 7,3                    | 0,20 | 0,50 |
| Вентилятор                                     | 3 | 4,5                    | 0,65 | 0,80 |
| Заготовительное отделение                      | – | –                      | –    | –    |
| Отрезной станок                                | 2 | 12,95                  | 0,17 | 0,65 |
| Токарно–револьверный станок                    | 2 | 15,7                   | 0,15 | 0,40 |
| Механическая ножовка                           | 2 | 1,7                    | 0,45 | 0,65 |
| Отрезной станок с дисковой пилой               | 1 | 8,825                  | 0,17 | 0,65 |
| Трубоотрезной станок                           | 2 | 2,8                    | 0,17 | 0,65 |
| Пресс двухкривошипный                          | 1 | 28                     | 0,45 | 0,65 |
| Пресс винтовой фрикционный                     | 2 | 10                     | 0,45 | 0,65 |
| Гильотинные ножницы                            | 1 | 20                     | 0,45 | 0,65 |
| Кран–балка                                     | 2 | 5,3                    | 0,20 | 0,50 |



Продолжение таблицы 1

| Наименование узлов СЭС и электроприемников | n | P <sub>НОМ</sub> , кВт | K <sub>иА</sub> | cosφ |
|--|---|------------------------|-----------------|------|
| Вентилятор                                 | 1 | 4,5                    | 0,65            | 0,80 |
| Сварочный участок                          | – | –                      | –               | –    |
| Преобразователь сварочный                  | 3 | 4                      | 0,25            | 0,65 |
| Машина электро–сварочная стыковая          | 2 | 25 кВа                 | 0,25            | 0,65 |
| Машина электро–сварочная шовная            | 2 | 50 кВа                 | 0,25            | 0,65 |
| Машина электросварочная точечная           | 2 | 50 кВа                 | 0,25            | 0,65 |
| Трансформатор сварочный                    | 1 | 76 кВа                 | 0,25            | 0,65 |
| Агрегат сварочный                          | 2 | 14                     | 0,25            | 0,65 |
| Вентилятор                                 | 2 | 7                      | 0,65            | 0,80 |
| Кузнечно–пресовое отделение                | – | –                      | –               | –    |
| Пресс гидравлический                       | 2 | 20,0                   | 0,45            | 0,65 |
| Пресс эксцентриковый                       | 3 | 7,5                    | 0,45            | 0,65 |
| Молот пневматический ковочный              | 2 | 10,0                   | 0,45            | 0,65 |
| Вентилятор                                 | 2 | 3,3                    | 0,65            | 0,80 |
| Таль электрическая                         | 2 | 25,0                   | 0,45            | 0,65 |
| Термическое отделение                      | – | –                      | –               | –    |
| Электропечь сопротивления камерная         | 2 | 15                     | 0,25            | 0,65 |
| Электропечь сопротивления камерная         | 2 | 30                     | 0,25            | 0,65 |
| Электропечь сопротивления шахтная          | 2 | 45                     | 0,25            | 0,65 |
| Электропечь сопротивления протяжная        | 1 | 70                     | 0,25            | 0,65 |
| Муфельная печь                             | 3 | 2,2                    | 0,80            | 0,95 |
| Электропечь–ванна                          | 1 | 20                     | 0,85            | 0,95 |
| Шкаф электрический сушильный               | 3 | 1,1                    | 0,80            | 0,95 |
| Вентилятор                                 | 2 | 4,5                    | 0,65            | 0,80 |
| Гальванический участок                     | – | –                      | –               | –    |
| Селеновый выпрямитель 600/300 а 6/12 в     | 2 | 7                      | 0,80            | 0,95 |
| Полировальный станок двухшпиндельный       | 2 | 3,2                    | 0,17            | 0,65 |
| Шкаф электрический сушильный               | 2 | 4                      | 0,80            | 0,95 |
| Вентилятор                                 | 3 | 2,8                    | 0,65            | 0,80 |

Выводы по разделу.

В первом разделе ВКР проведена всесторонняя оценка объекта проектирования — ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО». Анализ показал, что успешная работа цеха во многом зависит от надежности и эффективности системы электроснабжения. Результаты анализа создают основу для дальнейшего проектирования системы электроснабжения, позволяя разработать оптимальные решения, способствующие повышению производительности и устойчивости работы ремонтного цеха.

## 2 Расчет электрических нагрузок

### 2.1 Расчет системы освещения цеха

«Для рассматриваемого ремонтного цеха светотехнический расчёт выполняется методом коэффициента использования светового потока.

В механическом отделении с нормальными условиями среды, с разрядом зрительных работ IV, размеры которого равны 24 м × 15 м × 6 м необходимо получить освещенность  $E_H = 200$  лк, применяются осветительные приборы ЛСП02, которые обладают следующими характеристиками:

- степень защиты – IP20;
- тип КСС – Д-2;
- КПД осветительного прибора –  $\eta_c = 0,72$ .

Расчетная высота» [7]:

$$H_p = h_{\text{пом}} - h_{\text{р.п.}} - h_c, \quad (1)$$

где  $h_{\text{пом}}$  – «высота помещений,  $h_{\text{пом}} = 6$  м;

$h_{\text{р.п.}}$  – высота рабочей поверхности, которая равна 0,8 м;

$h_c$  – высота свеса светильника, принимается равной  $h_c = 1,5$  м» [7];

$$H_p = 6 - 0,8 - 1,5 = 3,7 \text{ м.}$$

«Расстояние между рядами и светильниками в ряду» [2]:

$$L = \lambda_c \cdot H_p, \quad (2)$$

где  $\lambda_c$  – «наивыгоднейшее относительное расстояние, равное 1,2» [2];

$$L = 1,2 \cdot 3,7 = 4,44 \text{ м.}$$

«Количество рядов осветительных приборов в рассматриваемом помещении цеха» [7]:

$$n_b = \frac{B}{L}, \quad (3)$$

$$n_b = \frac{15}{4,44} = 3,38.$$

«Принимается количество рядов равным 3.

Расстояние по ширине от крайнего осветительного прибора до стены цеха» [7]:

$$l_B = \frac{B - L \cdot (n_b - 1)}{2}, \quad (4)$$

$$l_B = \frac{15 - 4,44 \cdot (3 - 1)}{2} = 3 \text{ м},$$

$$l_B \approx (0,3 \dots 0,5) \cdot L,$$

$$3 \approx 1,33 \dots 2,22.$$

«Условие не выполняется, принимается  $l_B = 3$  м, отсюда  $L = 6$  м.

Индекс помещения, о.е.» [7]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (5)$$

где  $A$  и  $B$  – «длина и ширина рассматриваемого помещения цеха;

$H_p$  – высота подвеса осветительного прибора над рабочей поверхностью» [7]:

$$i = \frac{24 \cdot 15}{3,7 \cdot (24 + 15)} = 2,49.$$

«Коэффициент использования рассматриваемого помещения цеха  $\eta_{\text{п}}$  определяется в зависимости  $i=2,49$ ,  $\rho_{\text{п}}=0,3$ ,  $\rho_{\text{с}}=0,1$ ,  $\rho_{\text{р}}=0,1$  и КСС типа Д–2  $\eta_{\text{п}}=75\%$ » [2].

«Коэффициент использования светового потока определяется по выражению» [7]:

$$\eta = \eta_{\text{с}} \cdot \eta_{\text{п}}, \quad (6)$$

$$\eta = 0,72 \cdot 0,75 = 0,54.$$

Расчётное значение светового потока, лм:

$$\Phi_{\text{расч}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (7)$$

где  $E_{\text{н}}$  – «значение нормативной минимальной освещённости» [18], лк;

$z$  – «коэффициент, который характеризует неравномерность электроосвещения, который равен 1,1 для ЛЛ, о.е.;

$k_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса, который составляет 1,5;

$S$  – площадь рассматриваемых помещений, м<sup>2</sup>» [7],

$$S = A \cdot B; \quad (8)$$

$$S = 24 \cdot 15 = 360 \text{ м}^2,$$

$$\Phi_{\text{расч}} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 360 \cdot 1,1}{3 \cdot 0,54} = 68275,9 \text{ лм.}$$

Принимается лампа ЛБ 80 с  $P_{\text{ном}}=80$  Вт,  $\Phi_{\text{с}}=4960$  лм.

Количество осветительных приборов в ряду равно, шт.:

$$N = \frac{\Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{с}} \cdot 2}, \quad (9)$$

$$N = \frac{68275,9}{4960 \cdot 2} = 6,9.$$

Принимается  $N = 7$  светильников.

«Суммарное значение световых потоков расчетного и действительного определяется по выражениям» [7]:

$$\Phi_{\Sigma p} = \Phi_{\text{расч}} \cdot n, \quad (10)$$

$$\Phi_{\Sigma p} = 68275,9 \cdot 3 = 204827,7 \text{ лм},$$

$$\Phi_{\Sigma д} = 2 \cdot \Phi_{\text{ном}} \cdot N \cdot n, \quad (11)$$

$$\Phi_{\Sigma д} = 2 \cdot 4960 \cdot 7 \cdot 3 = 208320 \text{ лм}.$$

«Расхождение действительного светового потока с требуемым» [7]:

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{\Phi_{\Sigma д} - \Phi_{\Sigma p}}{\Phi_{\Sigma p}} \cdot 100\%, \quad (12)$$

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{208320 - 204827,7}{204827,7} \cdot 100\% = +1,7\%.$$

«поэтому, окончательно принимается 21 светильник ЛСП02  $2 \times 80$ .

Установленная мощность электроосвещения» [7]:

$$P_{\text{уст}} = N \cdot n \cdot P_{\text{л}} \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$

$$P_{\text{уст}} = 7 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 3,36 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка, кВт:

$$P_p = k_{\text{со}} \cdot k_{\text{пра}} \cdot P_{\text{уст}}, \quad (14)$$

где  $k_{\text{со}}$  – «коэффициент спроса электроосвещения,  $k_{\text{со}} = 0,85$ » [2];

$k_{\text{пра}}$  – «коэффициент, который учитывает потери мощности в ПРА,

$k_{\text{пра}} = 1,25$  – для ЛЛ» [2];

$$P_p = 0,85 \cdot 1,25 \cdot 3,36 = 3,57 \text{ кВт}.$$

«Расчетную реактивную нагрузку электроосвещения можно определить по выражению» [7]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (15)$$

$$Q_p = 3,57 \cdot 0,48 = 1,71 \text{ квар.}$$

«Расчёт нагрузки освещения методом коэффициента использования светового потока для других помещений ремонтного цеха выполняется аналогично, расчет электроосвещения в помещении трансформаторной подстанции делается точечным методом, пример расчёта приведен ниже, результаты расчёта сведены в таблицу 2» [7].

Для эвакуационного электроосвещения над выходами предусмотрены световые указатели «Выход», выполненные светильниками марки НББ02–25 в помещениях со степенью защиты IP20.

«Уточнённая величина установленной мощности электроосвещения в КТП» [7]:

$$P_{\text{уст}} = 4 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0,64 \text{ кВт.}$$

Расчетная нагрузка освещения в КТП:

$$P_p = 0,856 \cdot 1,25 \cdot 0,64 = 0,48 \text{ кВт.}$$

«Расчетную реактивную нагрузку освещения в КТП можно определить по формуле» [7]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (16)$$

$$Q_p = 0,48 \cdot 0,48 = 0,23 \text{ квар.}$$

«Уточнённая величина установленной мощности аварийного электроосвещения и расчётная нагрузка составляют» [7]:

$$P_{\text{уст}} = 6 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0,96 \text{ кВт},$$

$$P_p = 1 \cdot 1,25 \cdot 0,96 = 1,2 \text{ кВт}.$$

«Расчетная реактивная нагрузка аварийного электроосвещения» [7]:

$$Q_p = 1,2 \cdot 0,48 = 0,58 \text{ квар}.$$

«Уточнённая величина установленной мощности электроосвещения световых указателей «Выход» и расчётная нагрузка составляют» [7]:

$$P_{\text{уст}} = 2 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,05 \text{ кВт},$$

$$P_p = 1 \cdot 0,05 = 0,05 \text{ кВт}.$$

Общая нагрузка аварийного электроосвещения:

$$P_p = 1,2 + 0,05 = 1,25 \text{ кВт}.$$

Нагрузка рабочего электроосвещения:

$$P_{\text{уст}} = 133 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 21,28 \text{ кВт},$$

$$P_p = 32 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 5,12 \text{ кВт}.$$

$$P_p = 0,85 \cdot 1,25 \cdot 21,28 + 0,6 \cdot 1,25 \cdot 5,12 = 26,35 \text{ кВт}.$$

Нагрузка рабочего электроосвещения:

$$Q_p = 26,35 \cdot 0,48 = 12,65 \text{ квар}.$$

Размещение осветительных приборов рабочего и аварийного электроосвещения в цехе и в КТП приведены в графической части ВКР.

## 2.2 Расчет электрических нагрузок

«Расчет для характерной категории электроприёмников на примере токарно–затыловочного станка.

Общая номинальная (установленная) мощность  $P$ , кВт, находится по формуле» [3]:

$$P_{\text{ном}} = n \cdot p_{\text{ном}}, \quad (17)$$

где  $n$  – «количество электроприемников в характерной категории, шт;

$p_{\text{ном}}$  – номинальная мощность одного электроприемника характерной категории, кВт» [3].

$$P_{\text{ном}} = 1 \cdot 3,8 = 3,8 \text{ кВт.}$$

Коэффициент использования  $k_{\text{и}}$  определяется из [15]. При диапазоне значений следует брать большее «значение коэффициента  $k_{\text{и}}=0,15$ .

Средняя активная мощность  $P_{\text{с}}$ , кВт, определяется по формуле» [3]:

$$P_{\text{с}} = k_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}}, \quad (18)$$

где  $k_{\text{и}}$  – «коэффициент использования электроприемников;

$P_{\text{ном}}$  – общая номинальная (установленная) мощность характерной категории электроприемников, кВт» [3].

$$P_{\text{с}} = 0,15 \cdot 3,8 = 0,6 \text{ кВт}$$

Коэффициент реактивной мощности  $\text{tg}\varphi$  находится на основе  $\cos\varphi$  и составляет для рассматриваемого станка  $\text{tg}\varphi = 2,29$ .



«Средняя реактивная мощность  $Q_c$ , квар, находится по формуле

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (19)$$

где  $P_c$  – средняя активная мощности характерной категории электроприемников, кВт;

$\operatorname{tg}\varphi$  – коэффициент мощности электроприемников характерной категории» [3].

$$Q_c = 0,6 \cdot 2,29 = 1,3 \text{ квар.}$$

Дальнейшие расчеты производятся для узла питания на примере распределительного шкафа РП–1.

«Общее количество электроприемников  $n$ , шт., определяется по формуле» [4]:

$$n = \sum n_i, \quad (20)$$

где  $n_i$  – «количество электроприемников в каждой характерной категории, шт» [4].

$$\sum n = 35 \text{ шт.}$$

Минимальная и максимальная мощность электроприемников  $p_{\text{мин}}$  и  $p_{\text{мак}}$ , подключенных к данному РП–1.

$$p_{\text{мин}} = 0,5 \text{ кВт; } p_{\text{мак}} = 7 \text{ кВт.}$$

«Общая номинальная (установленная) мощность узла питания  $P_{\text{номУП}}$ , определяется по формуле:

$$P_{\text{номУП}} = \sum P_{\text{ном}i}, \quad (21)$$

где  $P_{\text{ном}i}$  – номинальные (установленные) мощности характерных категорий электроприемников, кВт.

$$P_{\text{номУП}} = 91,2 \text{ кВт.}$$

Средняя активная мощность узла питания  $P_{\text{сУП}}$ , кВт, определяется по формуле:

$$P_{\text{сУП}} = \Sigma P_{\text{с}i}, \quad (22)$$

где  $P_{\text{с}i}$  – средние активные мощности характерных категорий электроприемников, кВт.

$$P_{\text{сУП}} = 19,0 \text{ кВт.}$$

Средняя реактивная мощность узла питания  $Q_{\text{сУП}}$ , квар, определяется по формуле» [4]:

$$Q_{\text{сУП}} = \Sigma Q_{\text{с}i}, \quad (23)$$

где  $Q_{\text{с}i}$  – «средние реактивные мощности характерных категорий электроприемников, квар.

$$Q_{\text{сУП}} = 34,4 \text{ квар.}$$

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

$$K_{\text{и}} = P_{\text{сУП}} / P_{\text{номУП}}, \quad (24)$$

где  $P_{\text{номУП}}$  – общая номинальная (установленная) мощность узла питания, кВт;

$P_{\text{сУП}}$  – средняя активная мощность узла питания, кВт» [4].

$$k_{и} = 19,0 / 91,2 = 0,21.$$

«Средневзвешенный коэффициент реактивной мощности  $\text{tg}\varphi$  определяется по формуле» [4]:

$$\text{tg}\varphi = Q_{с\text{УП}} / P_{с\text{УП}}, \quad (25)$$

где  $Q_{с\text{УП}}$  – «средняя реактивная мощность узла питания, квар;

$P_{с\text{УП}}$  – средняя активная мощность узла питания, кВт» [4].

$$\text{tg}\varphi = 34,4 / 19,0 = 1,81.$$

Средневзвешенный коэффициент мощности  $\cos\varphi$  определяется на основе  $\text{tg}\varphi$  по [15] и для РП1 составляет  $\cos\varphi = 0,48$ .

Эффективное число ЭП  $n_э$ , шт,

$$n_э = \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{н\text{мак}} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{н\text{омУП}}^2}, \quad (26)$$

где  $P_{н\text{мак}}$  – «номинальная мощность наиболее мощного электроприемника, подключенного к узлу питания, кВт;

$P_{н\text{омУП}}$  – общая номинальная (установленная) мощность узла питания, кВт» [4].

$$n_э = 91,2^2 / 353,4 = 24.$$

«Коэффициент расчётной нагрузки  $k_p$  определяется по [15] с учетом значения средневзвешенного коэффициента использования  $k_{и}$  и эффективного числа ЭП  $n_э$  и для РП1 составляет  $k_p=1,10$ .

Расчетная активная мощность узла питания  $P_{р\text{УП}}$ , кВт, определяется по формуле» [4]:

$$P_{p.УП} = P_{с.УП} \cdot k_p, \quad (27)$$

где  $k_p$  – «коэффициент расчетной нагрузки»;

$P_{с.УП}$  – средняя активная мощность узла питания, кВт» [4].

$$P_{p.УП} = 19,0 \cdot 1,1 = 20,9 \text{ кВт.}$$

Коэффициент расчётной нагрузки по реактивной мощности  $k_p$  определяется по формуле:

$$k_{pp} = 1 + \frac{1}{6 \cdot \sqrt{n_3}}, \quad (28)$$

$$k_{pp} = 1 + \frac{1}{6 \cdot \sqrt{24}} = 1,03.$$

Расчетная реактивная мощность узла питания  $Q_{p.УП}$ , квар равна

$$Q_{p.УП} = k_{pp} \cdot Q_{с.УП} \quad (29)$$

где  $Q_{с.УП}$  – средняя реактивная мощность узла питания, квар;

$$Q_{p.УП} = 1,03 \cdot 34,4 = 35,6 \text{ квар.}$$

Величина полной расчетной мощности  $S_p$ , кВА,

$$S_{p.УП} = \sqrt{P_p^2 + Q_{p.УП}^2}, \quad (30)$$

$$S_{p.УП} = \sqrt{20,9^2 + 35,6^2} = 41,3 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток для узла питания определяется по формуле:

$$I_{p.УП} = \frac{S_{p.УП}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (31)$$

где  $U_n$  – напряжение внутрицеховой сети, кВ.

$$I_{p.УП} = \frac{41,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 59,6 \text{ А.}$$

Значение пикового тока нагрузки узла:

$$i_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + I_{p.УП} - k_u \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}, \quad (32)$$

где  $I_{\text{ном}}^{\text{max}}$  – номинальный ток, А,

$$I_{\text{ном}}^{\text{max}} = \frac{P_{i.\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}, \quad (33)$$

где  $I_{\text{пуск}}^{\text{max}}$  – пусковой ток самого мощного ЭП, А:

$$I_{\text{ном}}^{\text{max}} = \frac{7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,4} = 26,6 \text{ А,}$$

$$I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = k_n \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}, \quad (34)$$

где  $K_n$  – кратность пускового тока самого мощного ЭП,

$$I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = 5,5 \cdot 26,6 = 146,3 \text{ А,}$$

где  $i_{\text{пик}}$  – пиковый ток узла питания, А;

$$i_{\text{пик}} = 146,3 + 59,6 - 0,15 \cdot 26,6 = 201,9 \text{ А.}$$

На этом расчет по РП–1 закончен. Аналогично рассчитываются все остальные узлы питания, результаты заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет нагрузок цеха

| Наименование узлов СЭС и электроприемников     | n  | Уст мощ-ть             |                        | K <sub>ИА</sub> | cosφ | tgφ  | P <sub>с</sub> , кВт | Q <sub>с</sub> , кВт | n•P <sub>НОМ</sub> <sup>2</sup> | n <sub>Э</sub> | K <sub>РА</sub> | K <sub>РР</sub> | P <sub>р</sub> , кВт | Q <sub>р</sub> , квар | S <sub>р</sub> , кВА | I <sub>р</sub> /I <sub>пик</sub> , А |
|--|----|------------------------|------------------------|-----------------|------|------|----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|
|  |    | P <sub>НОМ</sub> , кВт | P <sub>СУМ</sub> , кВт |                 |      |      |                      |                      |                                 |                |                 |                 |                      |                       |                      |                                      |
| Инструментальное отделение (РП-1)              | –  | –                      | –                      | –               | –    | –    | –                    | –                    | –                               | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Токарно-затыловочные станки                    | 1  | 3,8                    | 3,8                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,6                  | 1,3                  | 14,4                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Универсально-фрезерные станки                  | 3  | 7                      | 21,0                   | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 3,2                  | 7,2                  | 147,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Настольно- фрезерные станки                    | 4  | 0,6                    | 2,4                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,4                  | 0,8                  | 1,4                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Вертикально-сверлильные станки                 | 2  | 2,8                    | 5,6                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,8                  | 1,9                  | 15,7                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Радиально-сверлильные станки                   | 4  | 1,7                    | 6,8                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 1,0                  | 2,3                  | 11,6                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Широкоуниверсальный фрезерные станки           | 1  | 1,7                    | 1,7                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,3                  | 0,6                  | 2,9                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Токарно-винторезные станки                     | 2  | 4,5                    | 9,0                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 1,4                  | 3,1                  | 40,5                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Координатно-расточные станки                   | 2  | 1,27                   | 2,5                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,4                  | 0,9                  | 3,2                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Внутришлифовальные станки                      | 2  | 4,5                    | 9,0                    | 0,35            | 0,60 | 1,33 | 3,2                  | 4,2                  | 40,5                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Плоскошлифовальные станки                      | 3  | 1,7                    | 5,1                    | 0,35            | 0,60 | 1,33 | 1,8                  | 2,4                  | 8,7                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Круглошлифовальные станки                      | 1  | 2,8                    | 2,8                    | 0,35            | 0,60 | 1,33 | 1,0                  | 1,3                  | 7,8                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Обдирочно-шлифовальные станки                  | 2  | 1,7                    | 3,4                    | 0,35            | 0,60 | 1,33 | 1,2                  | 1,6                  | 5,8                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Полуавтомат для заточки сверл и зенкеров       | 1  | 2,825                  | 2,8                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,4                  | 1,0                  | 8,0                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Универсально-заточные станки                   | 3  | 1,4                    | 4,2                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,6                  | 1,4                  | 5,9                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Резьбошлифовальный станок                      | 1  | 4,91                   | 4,9                    | 0,35            | 0,60 | 1,33 | 1,7                  | 2,3                  | 24,1                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Тельфер  | 1  | 0,5                    | 0,5                    | 0,15            | 0,50 | 1,73 | 0,1                  | 0,1                  | 0,3                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Кран-балка                                     | 2  | 2,8                    | 5,6                    | 0,20            | 0,50 | 1,73 | 1,1                  | 1,9                  | 15,7                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| ИТОГО:   | 35 | 0,5/7                  | 91,2                   | 0,21            | 0,48 | 1,81 | 19,0                 | 34,4                 | 353,4                           | 24             | 1,10            | 1,03            | 20,9                 | 35,6                  | 41,3                 | 59,6/201,9                           |
| Механическое отделение (РП-2)                  | –  | –                      | –                      | –               | –    | –    | –                    | –                    | –                               | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Резьбонакатный полуавтомат с круглыми роликами | 2  | 2,8                    | 5,6                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,8                  | 1,9                  | 15,7                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Гочильный станок двусторонний                  | 4  | 1,7                    | 6,8                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 1,0                  | 2,3                  | 11,6                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Токарно-винторезные станки                     | 1  | 11,125                 | 11,1                   | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 1,7                  | 3,8                  | 123,8                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Токарно-винторезные станки                     | 3  | 4,5                    | 13,5                   | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 2,0                  | 4,6                  | 60,8                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Токарно-винторезные станки                     | 4  | 7                      | 28,0                   | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 4,2                  | 9,6                  | 196,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Вертикально-фрезерные станки                   | 2  | 4,5                    | 9,0                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 1,4                  | 3,1                  | 40,5                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Универсально-фрезерные станки                  | 1  | 1,7                    | 1,7                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,3                  | 0,6                  | 2,9                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Горизонтально-фрезерные станки                 | 3  | 8,7                    | 26,1                   | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 3,9                  | 9,0                  | 227,1                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Вертикально-сверлильные станки                 | 1  | 4,625                  | 4,6                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,7                  | 1,6                  | 21,4                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |

Продолжение таблицы 2

| Наименование узлов СЭС и электроприемников | n  | Уст мощ-ть             |                        | K <sub>ИА</sub> | cosφ | tgφ  | P <sub>С</sub> , кВт | Q <sub>С</sub> , кВт | n•P <sub>НОМ</sub> <sup>2</sup> | n <sub>Э</sub> | K <sub>РА</sub> | K <sub>РР</sub> | P <sub>Р</sub> , кВт | Q <sub>Р</sub> , квар | S <sub>Р</sub> , кВА | I <sub>Р</sub> /I <sub>пик</sub> , А |
|--|----|------------------------|------------------------|-----------------|------|------|----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|
|  |    | P <sub>НОМ</sub> , кВт | P <sub>СУМ</sub> , кВт |                 |      |      |                      |                      |                                 |                |                 |                 |                      |                       |                      |                                      |
| Опиловочный станок                         | 2  | 1                      | 2,0                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,3                  | 0,7                  | 2,0                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Поперечно–строгальный станок               | 1  | 4,5                    | 4,5                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 0,7                  | 1,5                  | 20,3                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Универсально–круглошлифовальный станок     | 1  | 5,625                  | 5,6                    | 0,35            | 0,60 | 1,33 | 2,0                  | 2,6                  | 31,6                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Долбежный станок                           | 2  | 3,8                    | 7,6                    | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 1,1                  | 2,6                  | 28,9                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Плоскошлифовальный станок                  | 1  | 2,8                    | 2,8                    | 0,35            | 0,60 | 1,33 | 1,0                  | 1,3                  | 7,8                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Кран–балка                                 | 1  | 7,3                    | 7,3                    | 0,20            | 0,50 | 1,73 | 1,5                  | 2,5                  | 53,3                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Вентилятор                                 | 3  | 4,5                    | 13,5                   | 0,65            | 0,80 | 0,75 | 8,8                  | 6,6                  | 60,8                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| ИТОГО:                                     | 32 | 1/11,125               | 149,8                  | 0,21            | 0,50 | 1,74 | 31,3                 | 54,5                 | 904,3                           | 25             | 1,09            | 1,03            | 34,1                 | 56,3                  | 65,8                 | 95,0/321,3                           |
| Заготовительное отделение (РП–3)           | –  | –                      | –                      | –               | –    | –    | –                    | –                    | –                               | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Отрезной станок                            | 2  | 12,95                  | 25,9                   | 0,17            | 0,65 | 1,17 | 4,4                  | 5,1                  | 335,4                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Токарно–револьверный станок                | 2  | 15,7                   | 31,4                   | 0,15            | 0,40 | 2,29 | 4,7                  | 10,8                 | 493,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Механическая ножовка                       | 2  | 1,7                    | 3,4                    | 0,45            | 0,65 | 1,17 | 1,5                  | 1,8                  | 5,8                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Отрезной станок с дисковой пилой           | 1  | 8,825                  | 8,8                    | 0,17            | 0,65 | 1,17 | 1,5                  | 1,8                  | 77,9                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Трубоотрезной станок                       | 2  | 2,8                    | 5,6                    | 0,17            | 0,65 | 1,17 | 1,0                  | 1,1                  | 15,7                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Пресс двухкровошипный                      | 1  | 28                     | 28,0                   | 0,45            | 0,65 | 1,17 | 12,6                 | 14,7                 | 784,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Пресс винтовой фрикционный                 | 2  | 10                     | 20,0                   | 0,45            | 0,65 | 1,17 | 9,0                  | 10,5                 | 200,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Гильотинные ножницы                        | 1  | 20                     | 20,0                   | 0,45            | 0,65 | 1,17 | 9,0                  | 10,5                 | 400,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Кран–балка                                 | 2  | 5,3                    | 10,6                   | 0,20            | 0,50 | 1,73 | 2,1                  | 3,7                  | 56,2                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Вентилятор                                 | 1  | 4,5                    | 4,5                    | 0,65            | 0,80 | 0,75 | 2,9                  | 2,2                  | 20,3                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| ИТОГО:                                     | 16 | 1,7/28                 | 158,2                  | 0,22            | 0,60 | 1,32 | 34,7                 | 45,8                 | 2388,2                          | 10             | 1,33            | 1,05            | 46,1                 | 48,2                  | 66,7                 | 96,3/427,2                           |
| Сварочный участок (РП–4)                   | –  | –                      | –                      | –               | –    | –    | –                    | –                    | –                               | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Преобразователь сварочный                  | 3  | 4                      | 12                     | 0,25            | 0,65 | 1,17 | 3                    | 3,5                  | 48,0                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Машина электро–сварочная стыковая          | 2  | 25 ква                 | 50 ква                 | 0,25            | 0,65 | 1,17 | 8,2                  | 9,6                  | 528,1                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Машина электро–сварочная шовная            | 2  | 50 ква                 | 100 ква                | 0,25            | 0,65 | 1,17 | 16,3                 | 19,1                 | 2112,5                          | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Машина электросварочная точечная           | 2  | 50 ква                 | 100 ква                | 0,25            | 0,65 | 1,17 | 16,3                 | 19,1                 | 2112,5                          | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Трансформатор сварочный                    | 1  | 76 ква                 | 76 ква                 | 0,25            | 0,65 | 1,17 | 12,4                 | 14,5                 | 2440,4                          | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Агрегат сварочный                          | 2  | 14                     | 28                     | 0,25            | 0,65 | 1,17 | 7                    | 8,2                  | 392,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Вентилятор                                 | 2  | 7                      | 14,0                   | 0,65            | 0,80 | 0,75 | 9,1                  | 6,8                  | 98,0                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| ИТОГО:                                     | 14 | 7/76кВА                | 265,9                  | 0,24            | 0,65 | 1,17 | 63,0                 | 73,6                 | 7731,5                          | 9              | 1,38            | 1,06            | 86,9                 | 77,7                  | 116,6                | 168,2/486,1                          |

Продолжение таблицы 2

| Наименование узлов СЭС и электроприемников | n   | Уст мощ-ть             |                        | K <sub>ИА</sub> | cosφ | tgφ  | P <sub>С</sub> , кВт | Q <sub>С</sub> , кВт | n•P <sub>НОМ</sub> <sup>2</sup> | n <sub>Э</sub> | K <sub>РА</sub> | K <sub>РР</sub> | P <sub>Р</sub> , кВт | Q <sub>Р</sub> , квар | S <sub>Р</sub> , кВА | I <sub>Р</sub> /I <sub>пик</sub> , А |
|--|-----|------------------------|------------------------|-----------------|------|------|----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|
|  |     | P <sub>НОМ</sub> , кВт | P <sub>СУМ</sub> , кВт |                 |      |      |                      |                      |                                 |                |                 |                 |                      |                       |                      |                                      |
| Кузнечно-пресовое отделение (РП-5)         | –   | –                      | –                      | –               | –    | –    | –                    | –                    | –                               | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Пресс гидравлический                       | 2   | 20,0                   | 40,0                   | 0,45            | 0,65 | 1,17 | 18,0                 | 21,0                 | 800,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Пресс эксцентриковый                       | 3   | 7,5                    | 22,5                   | 0,45            | 0,65 | 1,17 | 10,1                 | 11,8                 | 168,8                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Молот пневматический ковочный              | 2   | 10,0                   | 20,0                   | 0,45            | 0,65 | 1,17 | 9,0                  | 10,5                 | 200,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Вентилятор                                 | 2   | 3,3                    | 6,6                    | 0,65            | 0,80 | 0,75 | 4,3                  | 3,2                  | 21,8                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Таль электрическая                         | 2   | 25,0                   | 50,0                   | 0,45            | 0,65 | 1,17 | 22,5                 | 26,3                 | 1250,0                          | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| ИТОГО:                                     | 11  | 3,3/25                 | 139,1                  | 0,46            | 0,66 | 1,14 | 63,9                 | 72,9                 | 2440,5                          | 8              | 1,09            | 1,06            | 69,7                 | 77,2                  | 104,0                | 150,1/299,3                          |
| Термическое отделение (РП-6)               | –   | –                      | –                      | –               | –    | –    | –                    | –                    | –                               | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Электропечь сопротивления камерная         | 2   | 15                     | 30                     | 0,25            | 0,65 | 1,17 | 19,5                 | 22,8                 | 450,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Электропечь сопротивления камерная         | 2   | 30                     | 60                     | 0,25            | 0,65 | 1,17 | 39                   | 45,6                 | 1800,0                          | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Электропечь сопротивления шахтная          | 2   | 45                     | 90                     | 0,25            | 0,65 | 1,17 | 58,5                 | 68,4                 | 4050,0                          | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Электропечь сопротивления протяжная        | 1   | 70                     | 70                     | 0,25            | 0,65 | 1,17 | 45,5                 | 53,2                 | 4900,0                          | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Муфельная печь                             | 3   | 2,2                    | 6,6                    | 0,80            | 0,95 | 0,33 | 5,3                  | 1,7                  | 14,5                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Электропечь-ванна                          | 1   | 20                     | 20,0                   | 0,85            | 0,95 | 0,33 | 17,0                 | 5,6                  | 400,0                           | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Шкаф электрический сушильный               | 3   | 1,1                    | 3,3                    | 0,80            | 0,95 | 0,33 | 2,6                  | 0,9                  | 3,6                             | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Вентилятор                                 | 2   | 4,5                    | 9,0                    | 0,65            | 0,80 | 0,75 | 5,9                  | 4,4                  | 40,5                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| ИТОГО:                                     | 16  | 1,1/70                 | 288,9                  | 0,32            | 0,74 | 0,92 | 93,3                 | 85,6                 | 11658,7                         | 7              | 1,21            | 1,06            | 112,9                | 91,0                  | 145,0                | 209,2/659,7                          |
| Гальванический участок (РП-7)              | –   | –                      | –                      | –               | –    | –    | –                    | –                    | –                               | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Селеновый выпрямитель 600/300 а 6/12 в     | 2   | 7                      | 14,0                   | 0,80            | 0,95 | 0,33 | 11,2                 | 3,7                  | 98,0                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Полировальный станок двухшпиндельный       | 2   | 3,2                    | 6,4                    | 0,17            | 0,65 | 1,17 | 1,1                  | 1,3                  | 20,5                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Шкаф электрический сушильный               | 2   | 4                      | 8,0                    | 0,80            | 0,95 | 0,33 | 6,4                  | 2,1                  | 32,0                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| Вентилятор                                 | 3   | 2,8                    | 8,4                    | 0,65            | 0,80 | 0,75 | 5,5                  | 4,1                  | 23,5                            | –              | –               | –               | –                    | –                     | –                    | –                                    |
| ИТОГО:                                     | 9   | 2,8/7                  | 36,8                   | 0,66            | 0,91 | 0,46 | 24,1                 | 11,2                 | 174,0                           | 8              | 1,01            | 1,06            | 24,4                 | 11,8                  | 27,1                 | 39,1/91,8                            |
| Итого по цеху:                             | 133 | 0,5/70                 | 1129,9                 | 0,29            | 0,75 | 0,87 | 329,3                | 378,1                | 25650,5                         | 50             | 0,75            | 1,02            | 247,0                | 387,0                 | 459,1                | 662,6                                |
| Рабочее освещение                          | –   | –                      | –                      | –               | –    | –    | –                    | –                    | –                               | –              | –               | –               | 26,35                | 12,65                 | –                    | –                                    |
| Аварийное освещение                        | –   | –                      | –                      | –               | –    | –    | –                    | –                    | –                               | –              | –               | –               | 1,25                 | 0,58                  | –                    | –                                    |
| ИТОГО ТП:                                  | –   | –                      | –                      | –               | –    | –    | –                    | –                    | –                               | –              | –               | –               | 274,6                | 400,23                | 485,2                | –                                    |



Выводы по разделу.

Во втором разделе ВКР выполнен расчет электрических нагрузок для проектируемой системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО». Выполнен расчет электрического освещения цеха методом коэффициента использования. К установке приняты светильники с люминесцентными лампами ЛСП02. Расчет освещения ТП выполнен точечным методом. К установке в ТП приняты светильники с люминесцентными лампами марки ПВЛМ. Определены максимальные и средние значения нагрузки, что позволяет точно спланировать параметры электроснабжения. Установлено, что суммарная мощность оборудования требует учета пиковых нагрузок и резервирования мощности для обеспечения бесперебойной работы. Точный расчет электрических нагрузок является критически важным этапом, который обеспечит надежность и эффективность работы электроснабжения ремонтного цеха, а также создаст предпосылки для его дальнейшей модернизации и развития.

### 3 Выбор силовых трансформаторов цеховой ТП

«Величина расчетной мощности цеха состоит из расчетной силовой и осветительной нагрузок» [11]:

$$P_{p.ц.} = P_{p.с.} + P_{p.о.}; \quad (35)$$

$$Q_{p.ц.} = Q_{p.с.} + Q_{p.о.}; \quad (36)$$

Нагрузки КТП приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Нагрузки КТП

| Тип нагрузки        | $P_p^8, кВт$ | $P_p^{30}, кВт$ | Q <sub>p</sub> , квар | S <sub>p</sub> , кВА | $S_p^{30}, кВА$ |
|---------------------|--------------|-----------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| Нагрузка            | 247,0        | 288,19          | 387,0                 | 459,1                | 482,52          |
| Рабочее освещение   | 26,35        | 26,35           | 12,65                 | 29,22                | 29,22           |
| Аварийное освещение | 1,25         | 1,25            | 0,58                  | 1,38                 | 1,38            |
| Итого:              | 274,6        | 315,79          | 400,23                | 485,2                | 533,12          |

«Расчетная активная и расчетная реактивная мощности цеха составляют» [11]:

$$P_{p.ц.} = 247,0 + 26,35 + 1,25 = 274,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.ц.} = 387,0 + 12,65 + 0,58 = 400,23 \text{ квар};$$

«Полная мощность трансформатора определяется из условия» [11]:

$$S_n \geq \frac{P_{p.ц.}}{N \cdot K_3}, \quad (37)$$

где N – «количество трансформаторов»;

$K_3$  – коэффициент загрузки силового трансформатора, принимают в зависимости от категории потребителей электроэнергии,  $K_3 = 0,7$ » [11].

«Мощность силового трансформатора составляет» [11]:

$$S_n \geq \frac{274,6}{2 \cdot 0,7} = 196,1 \text{ кВА.}$$

«Выбираются трансформаторы ТМЗ–250/10/0,4» [17].

«Предварительная проверка по допустимой перегрузке выбранных силовых трансформаторов осуществляем по соотношению» [14]:

$$K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{н.тр}} \geq P_p^{30}, \quad (38)$$

где  $K_{\text{пер}}$  – «коэффициент перегрузки в послеаварийных режимах,  $K_{\text{пер}} = 1,4$ ;

$P_p^{30}$  – расчетная нагрузка, которая определена на интервале осреднения 30 минут, кВт» [14]:

$$P_p^{30} = (1,15 \dots 1,2) \cdot P_p, \quad (39)$$

$$1,4 \cdot 250 \geq 315,79,$$

«следовательно, по данному условию выбранные трансформаторы проходят проверку.

«Действительный коэффициент загрузки силовых трансформаторов из условия полной компенсации реактивной мощности» [24]:

$$K_3 = \frac{P_{\text{р.ц.}}}{N \cdot S_n}, \quad (40)$$

$$K_3 = \frac{315,79}{2 \cdot 250} = 0,64.$$

Выбор КУ.

Компенсирующие устройства играют важную роль в обеспечении надежности, эффективности и качества электроснабжения, особенно при работе с электрооборудованием, генерирующим активные и реактивные мощности.

Первоначально необходимо провести анализ текущего состояния системы электроснабжения цеха. Это включает изучение характеристик нагрузки, идентификацию факторов, влияющих на качество электроэнергии, анализ данных о режимах работы и пиковых нагрузках. Также будет проведена оценка энергетической эффективности и идентификация проблемных зон в системе электроснабжения, где необходимо внедрение компенсирующих устройств.

После анализа текущего состояния системы электроснабжения рассматриваются различные виды компенсирующих устройств, такие как активные фильтры гармоник, реактивные компенсаторы и статические компенсаторы реактивной мощности.

Необходимо определить требования к компенсирующим устройствам, исходя из потребностей и особенностей производственного процесса цеха. Будут учтены факторы, такие как гармонические искажения, факторы мощности, перегрузки, снижение энергопотерь и улучшение качества электроэнергии.

Далее выполняется анализ возможных вариантов компенсирующих устройств с учетом их технических параметров, экономической целесообразности, степени автоматизации и интеграции в существующую систему электроснабжения. Рассматриваются различные модели и производители компенсирующих устройств, а также их стоимость и гарантии качества.

На основе проведенного анализа предлагается оптимальное решение для выбора компенсирующих устройств системы электроснабжения цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО».

Окончательное решение по выбору компенсирующих устройств основано на балансе между техническими, экономическими и энергетическими показателями, с учетом специфических потребностей и целей ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО». Выбранные компенсирующие устройства должны обеспечить эффективную работу системы электроснабжения цеха, снизить энергопотери и обеспечить стабильное качество электроэнергии для поддержания безопасности и непрерывности производственного процесса.

Состав нагрузок ТП по секциям приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Нагрузки КТП по секциям

| Нагрузки            | $P_p^8, \text{кВт}$ | $P_p^{30}, \text{кВт}$ | $Q_p, \text{квар}$ | $S_p^{30}, \text{кВА}$ |
|---------------------|---------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| I Секция            |                     |                        |                    |                        |
| Нагрузка            | 132,3               | 152,2                  | 154,3              | 216,7                  |
| Итого I секция:     | 132,3               | 152,2                  | 154,3              | 216,7                  |
| II Секция           |                     |                        |                    |                        |
| Нагрузка            | 114,7               | 136,0                  | 94,4               | 165,6                  |
| Аварийное освещение | 1,25                | 1,25                   | 0,58               | 1,38                   |
| Освещение           | 26,35               | 26,35                  | 12,65              | 29,22                  |
| Итого II секция:    | 142,3               | 163,6                  | 107,63             | 196,2                  |

Необходимая мощность КУ для одной СШ по первому условию [14]:

$$Q_{\text{кутр1}} = Q_p - Q_1, \quad (41)$$

где  $Q_1$  – «величина расчётной реактивной мощности цеха, которую можно передать через силовой трансформатор ТП с учётом необходимого коэффициента загрузки» [14]:

$$Q_1 = \sqrt{(K_3 \cdot S_H)^2 - (P_p^{30})^2}, \quad (42)$$

I СШ КТП:

$$Q_1 = \sqrt{(0,75 \cdot 250)^2 - 154,3^2} = 106,5 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{кутр1}} = 154,3 - 106,5 = 47,8 \text{ квар}.$$

«Требуемая мощность установок КРМ по второму условию» [14],

$$Q_{\text{кутр2}} = Q_p - Q_{\text{э}}, \quad (43)$$

где  $Q_{\text{э}}$  – «часть реактивной мощности, которая потребляется в часы наибольших нагрузок энергетической системы ТП, квар [14]»:

$$Q_{\text{э}} = P_p^{30} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{э}}, \quad (44)$$

где  $\text{tg}\varphi_{\text{э}}$  – «коэффициент мощности на сборных шинах ТП, принимается  $\text{tg}\varphi_{\text{э}} = 0,3$ » [19]:

$$Q_{\text{э}} = 132,3 \cdot 0,3 = 39,7 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{кутр2}} = 154,3 - 39,7 = 114,6 \text{ квар}.$$

Из двух определенных значений мощности необходимо выбрать большее.

«На сборных шинах 0,4 кВ устанавливается компенсирующее устройство ККУ–0,38–135–У3 мощность которого составляет 135 квар» [23].

«Для II СШ КТП расчёт выполняется аналогично. На СШ 0,4 кВ устанавливается конденсаторная установка ККУ–0,38–75–У3 мощностью 75 квар» [23].

«Действительный коэффициент загрузки силовых трансформаторов» [20]:

$$K_3 = S'_p / S_{HT}, \quad (45)$$

где  $S'_p$  – «величина расчётной полной мощности с учетом компенсации, кВА» [20]:

$$S'_p = \sqrt{(P_p^{30})^2 + (Q_p - Q_{ку})^2}. \quad (46)$$

Для I СШ КТП:

$$S'_p = \sqrt{132,3^2 + (154,3 - 135)^2} = 133,7 \text{ кВА},$$

$$K_3 = \frac{133,7}{250} = 0,53.$$

Для II СШ КТП:

$$S'_p = \sqrt{142,3^2 + (107,63 - 75)^2} = 146,0 \text{ кВА},$$

$$K_3 = \frac{146,0}{250} = 0,58.$$

Суммарная мощность по ТП:

$$S'_p = \sqrt{274,6^2 + (400,23 - 210)^2} = 334,1 \text{ кВА}.$$

«Проверку по допустимой перегрузке силовых трансформаторов ТП после компенсации реактивной мощности можно выполнить как:

$$1,4 \cdot S_{HT} \geq S'_p, \quad (47)$$

$$1,4 \cdot 250 = 350 \text{ кВА} > 334,1 \text{ кВА}.$$

Условие по допустимой перегрузке силовых трансформаторов выполняется» [20].

Выбор типа трансформаторной подстанции.

В нашем случае для электроснабжения потребителей используется два трансформатора типа ТМЗ–250–10/0,4. Исходя из этого определяется тип КТП: 2КТП–250–10/0,4 [25]. Так как трансформаторная подстанция расположена в цехе, то она относится к КТП внутренней установки. Следовательно, целесообразнее будет применить разборную подстанцию, так как это удобно при эксплуатации, транспортировке и монтаже подстанции.

«Выбор электрооборудования цеховой трансформаторной подстанции.

КТП укомплектована следующим электрооборудованием:

- трансформатор типа ТМЗ – 250 – 10/0,4 – 2 шт.;
- шкаф ввода типа ШНВ–3–03–2 шт.;
- линейные шкафы типа ШНЛ–3–23 – 2 шт.;
- секционный шкаф ШНС–1–11 – 1 шт.

Линейные шкафы предназначены для питания электропотребителей, и они выбираются в зависимости от количества отходящих линий и от категории электроприёмников по надёжности электроснабжения» [25]. В данном случае выбраны такие типы линейных шкафов, так как приёмники цехе редукторов относятся ко второй категории.

«Выбирается оборудование на стороне 10 кВ в ТП.

Выключатели нагрузки на вводе в ТП. Выключатели нагрузки не предназначаются для отключения тока КЗ, поэтому их выбирают:

- по напряжению» [21]:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}, \quad (48)$$

- по максимальному току в рабочем режиме

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{норм}}, \quad (49)$$



$$I_{\text{норм}} = \frac{0,7 \cdot S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (50)$$

$$I_{\text{норм}} = \frac{0,7 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 10 \text{ А},$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}, \quad (51)$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (52)$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{1,4 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 20 \text{ А}.$$

– по электродинамической стойкости

$$i_y \geq i_{\text{дин}}, \quad (53)$$

где  $i_{\text{дин}}$  – «ток электродинамической стойкости, кА» [21];

– по термической стойкости

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}, \quad (54)$$

где  $I_{\text{тер}}$  – «ток термической стойкости, кА»;

$t_{\text{тер}}$  – время протекания  $I_{\text{тер}}$ , с» [21].

«Для установки на вводе в ТП применяем выключатель нагрузки ВНРп–10/400 УЗ. Расчетные и каталожные данные выключателя нагрузки приведены в таблице 5» [6].

Таблица 5 – Выбор выключателя нагрузки на вводе в ТП

| Условия выбора                                   | Расчетные параметры сети               | Каталожные данные  |
|--|--|--|
| $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$             | $u_{\text{уст}}=10 \text{ кВ}$         | $u_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$   |
| $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$            | $I_{\text{макс}}=20 \text{ А}$         | $I_{\text{ном}}=400 \text{ А}$   |
| $i_y \geq i_{\text{дин}}$                        | $i_y=6,5 \text{ кА}$                   | $i_{\text{дин}}=40 \text{ кА}$   |
| $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$ | $B_k = 36 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 16^2 \cdot 3 = 768 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

«Предохранители напряжением 10 кВ.

Выключатель нагрузки сочетается с высоковольтным предохранителем, то предохранитель выбирается:

– по напряжению» [22]:

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}, \quad (56)$$

– по длительному току

$$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{НОРМ}}, \quad (57)$$

$$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{МАХ}}, \quad (58)$$

– по отключающей способности

$$I_{\text{К.З.}}^{(3)} \leq I_{\text{ОТК.НОМ}}, \quad (59)$$

где  $I_{\text{ОТК.НОМ}}$  – номинальный ток отключения, кА.

«Для установки на вводе в ТП в сочетании с выключателем нагрузки применяем предохранитель ПКТ103–10–12,5/25 УЗ. Расчетные и каталожные данные высоковольтного предохранителя приведены в таблице 6» [6].

Таблица 6 – Выбор высоковольтного предохранителя на вводе в ТП

| Условия выбора                                  | Расчетные параметры сети       | Каталожные данные ПКТ103–10–12,5/25 |
|---|--------------------------------|-------------------------------------|
| $u_{\text{НОМ}} \geq u_{\text{УСТ}}$            | $u_{\text{УСТ}}=10$ кВ         | $u_{\text{НОМ}}=10$ кВ              |
| $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{МАХ}}$            | $I_{\text{МАХ}}=20$ А          | $I_{\text{НОМ}}=25$ А               |
| $I_{\text{К.З.}}^{(3)} \leq I_{\text{ОТК.НОМ}}$ | $I_{\text{К.З.}}^{(3)}=6,5$ кА | $I_{\text{ОТК.НОМ}}=12,5$ кА        |

Выводы по разделу.

В третьем разделе ВКР проведен обоснованный выбор трансформаторов и компенсирующих устройств для системы

электроснабжения ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО». Анализ потребностей цеха показал, что трансформаторы должны обеспечивать необходимую мощность с учетом пиковых нагрузок, что позволит избежать перегрузок и повысить надежность работы оборудования.

Для электроснабжения цеха принята двухтрансформаторная 2КТП–250/10/0,4 с силовыми трансформаторами ТМЗ–250/10/0,4. Выбранные трансформаторы соответствуют современным стандартам по эффективности и безопасности, что обеспечит долгосрочную эксплуатацию и минимизацию потерь энергии.

КТП укомплектована следующим электрооборудованием:

- трансформатор типа ТМЗ – 250 – 10/0,4 – 2шт;
- шкаф ввода «типа ШНВ–3–03–2 шт;
- линейные шкафы типа ШНЛ–3–23 – 2 шт;
- секционный шкаф ШНС–1–11 – 1 шт.

Для компенсации реактивной мощности на первой секции шин 0,4 кВ устанавливается конденсаторная установка ККУ–0,38–135–У3 мощностью 135 квар, на второй секции шин устанавливается конденсаторная установка ККУ–0,38–75–У3 мощностью 75 квар» [25]. Установка компенсирующих устройств позволит улучшить качество электроэнергии, снизить нагрузку на электросети. Для установки на вводе в ТП принят выключатель нагрузки ВНРп–10/400 УЗ в сочетании с предохранителем ПКТ103–10–12,5/25 УЗ.

#### 4 Выбор кабелей цеха

Расчётный ток электроприёмника  $I_p$ , А, равен номинальному  $I_{ном}$ , А

$$I_p = I_{ном}, \quad (60)$$

где  $I_{ном}$  – номинальный ток электроприёмника, А.

$$I_p = 15,3 \text{ А.}$$

На основе расчётного тока берётся ближайшее большее значение длительного допустимого тока, оно составляет  $I_{дд} = 27 \text{ А}$ . «Длительно допустимый ток  $I_{дд}'$ , А, для фактической температуры окружающего воздуха определяется по формуле» [12]:

$$I_{дд}' = I_{дд} \cdot k_T, \quad (61)$$

где  $I_{дд}$  – длительно допустимый ток нагрузки, А;

$k_T$  – поправочный температурный коэффициент,  $k_T = 0,91$ .

$$I_{дд}' = 27 \cdot 0,91 = 24,57 \text{ А.}$$

Должны выполняться следующие неравенства

$$I_{дд}' \geq I_p, \quad (62)$$

$$24,57 \text{ А} \geq 15,3 \text{ А,}$$

$$I_{дд}' \geq I_{тр},$$

где  $I_{тр}$  – ток теплового расцепителя автомата, А.

$$24,57 \text{ А} \geq 25 \text{ А} – \text{верно.}$$

«Выбранные кабели должны быть проверены на потерю напряжения. Потери напряжения во внутрицеховой распределительной сети можно рассчитать методом момента нагрузки по мощности» [12]:

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot l}{C \cdot F}, \quad (63)$$

где  $P$  – «активная мощность, которая передается по линии, кВт;

$l$  – протяженность линии, м;

$C$  – коэффициент,  $C = 77$ ;

$F$  – сечение проводника,  $\text{мм}^2$ » [12],

$$\Delta U\% = \frac{3,8 \cdot 40}{45 \cdot 4} = 0,7\%.$$

Сечение и марка выбранного кабеля: ВВГ 5×4 [16]. Выбор остальных кабелей выполняется аналогично. Результаты расчета сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Выбор кабелей

| Начало линии | Конец линии | $P_p$ , кВт | $I_p$ , А | Марка кабеля | $I_{дд}$ , А | $k_T$ | $I'_{дд}$ , А | $I_{тр}$ , А | $L$ , м | $\Delta U$ , % |
|--------------|-------------|-------------|-----------|--------------|--------------|-------|---------------|--------------|---------|----------------|
| ТП           | РП-1        | 19,0        | 63,1      | ВВГ 5× 70    | 210          | 0,91  | 191,1         | 160          | 35      | 0,21           |
| РП-1         | 1           | 3,8         | 15,3      | ВВГ 5× 4     | 35           | 0,91  | 31,9          | 25           | 40      | 0,84           |
|              | 2           | 21,0        | 84,3      | ВВГ 5× 50    | 145          | 0,91  | 132,0         | 125          | 37      | 0,35           |
|              | 3           | 2,4         | 9,6       | ВВГ 5× 2,5   | 27           | 0,91  | 24,6          | 16           | 36      | 0,77           |
|              | 4           | 5,6         | 22,5      | ВВГ 5× 4     | 35           | 0,91  | 31,9          | 31,5         | 38      | 1,18           |
|              | 5           | 6,8         | 27,3      | ВВГ 5× 6     | 45           | 0,91  | 41,0          | 40           | 32      | 0,81           |
|              | 6           | 1,7         | 6,8       | ВВГ 5× 2,5   | 27           | 0,91  | 24,6          | 10           | 36      | 0,54           |
|              | 7           | 9,0         | 36,1      | ВВГ 5× 10    | 61           | 0,91  | 55,5          | 50           | 33      | 0,66           |
|              | 8           | 2,5         | 10,2      | ВВГ 5× 2,5   | 27           | 0,91  | 24,6          | 16           | 27      | 0,61           |
|              | 9           | 9,0         | 24,1      | ВВГ 5× 6     | 45           | 0,91  | 41,0          | 40           | 32      | 1,07           |
|              | 10          | 5,1         | 13,6      | ВВГ 5× 2,5   | 27           | 0,91  | 24,6          | 20           | 26      | 1,18           |
|              | 11          | 2,8         | 7,5       | ВВГ 5× 2,5   | 27           | 0,91  | 24,6          | 10           | 17      | 0,42           |
|              | 12          | 3,4         | 9,1       | ВВГ 5× 2,5   | 27           | 0,91  | 24,6          | 16           | 32      | 0,97           |
|              | 13          | 2,8         | 11,3      | ВВГ 5× 2,5   | 27           | 0,91  | 24,6          | 16           | 26      | 0,65           |
|              | 14          | 4,2         | 16,9      | ВВГ 5× 4     | 35           | 0,91  | 31,9          | 25           | 23      | 0,54           |
|              | 15          | 4,9         | 13,1      | ВВГ 5× 2,5   | 27           | 0,91  | 24,6          | 20           | 14      | 0,61           |
|              | 16          | 0,5         | 1,6       | ВВГ 5× 2,5   | 27           | 0,91  | 24,6          | 5            | 35      | 0,16           |
|              | 17          | 5,6         | 18,0      | ВВГ 5× 4     | 35           | 0,91  | 31,9          | 25           | 38      | 1,18           |

Продолжение таблицы 7

| Начало линии | Конец линии | Pp, кВт | Ip, А    | Марка кабеля | I <sub>дд</sub> , А | k <sub>г</sub> | I <sub>дд</sub> , А | I <sub>тр</sub> , А | L, м | ΔU, % |
|--------------|-------------|---------|----------|--------------|---------------------|----------------|---------------------|---------------------|------|-------|
| ТП           | РП-2        | 31,3    | 100,8    | ВВГ 5× 95    | 255                 | 0,91           | 232,1               | 200                 | 15   | 0,11  |
| РП-2         | 18          | 5,6     | 22,5     | ВВГ 5× 4     | 35                  | 0,91           | 31,9                | 31,5                | 42   | 1,31  |
|              | 19          | 6,8     | 27,3     | ВВГ 5× 6     | 45                  | 0,91           | 41,0                | 40                  | 36   | 0,91  |
|              | 20          | 11,1    | 44,7     | ВВГ 5× 16    | 81                  | 0,91           | 73,7                | 63                  | 40   | 0,62  |
|              | 21          | 13,5    | 54,2     | ВВГ 5× 25    | 107                 | 0,91           | 97,4                | 80                  | 37   | 0,44  |
|              | 22          | 28,0    | 112,4    | ВВГ 5× 70    | 210                 | 0,91           | 191,1               | 160                 | 28   | 0,25  |
|              | 23          | 9,0     | 36,1     | ВВГ 5× 10    | 61                  | 0,91           | 55,5                | 50                  | 36   | 0,72  |
|              | 24          | 1,7     | 6,8      | ВВГ 5× 2,5   | 27                  | 0,91           | 24,6                | 10                  | 30   | 0,45  |
|              | 25          | 26,1    | 104,8    | ВВГ 5× 70    | 210                 | 0,91           | 191,1               | 160                 | 30   | 0,25  |
|              | 26          | 4,6     | 18,6     | ВВГ 5× 4     | 35                  | 0,91           | 31,9                | 25                  | 34   | 0,87  |
|              | 27          | 2,0     | 8,0      | ВВГ 5× 2,5   | 27                  | 0,91           | 24,6                | 16                  | 31   | 0,55  |
|              | 28          | 4,5     | 18,1     | ВВГ 5× 4     | 35                  | 0,91           | 31,9                | 25                  | 22   | 0,55  |
|              | 29          | 5,6     | 15,1     | ВВГ 5× 2,5   | 27                  | 0,91           | 24,6                | 20                  | 36   | 1,80  |
|              | 30          | 7,6     | 30,5     | ВВГ 5× 10    | 61                  | 0,91           | 55,5                | 50                  | 38   | 0,64  |
|              | 31          | 2,8     | 7,5      | ВВГ 5× 2,5   | 27                  | 0,91           | 24,6                | 10                  | 32   | 0,80  |
| 32           | 7,3         | 23,4    | ВВГ 5× 4 | 35           | 0,91                | 31,9           | 31,5                | 14                  | 0,57 |       |
| 33           | 13,5        | 27,1    | ВВГ 5× 6 | 45           | 0,91                | 41,0           | 40                  | 20                  | 1,00 |       |
| ТП           | РП-3        | 34,7    | 92,3     | ВВГ 5× 95    | 255                 | 0,91           | 232,1               | 200                 | 20   | 0,16  |
| РП-3         | 34          | 25,9    | 64,0     | ВВГ 5× 25    | 107                 | 0,91           | 97,4                | 80                  | 25   | 0,58  |
|              | 35          | 31,4    | 126,0    | ВВГ 5× 70    | 210                 | 0,91           | 191,1               | 160                 | 19   | 0,19  |
|              | 36          | 3,4     | 8,4      | ВВГ 5× 2,5   | 27                  | 0,91           | 24,6                | 16                  | 13   | 0,39  |
|              | 37          | 8,8     | 21,8     | ВВГ 5× 4     | 35                  | 0,91           | 31,9                | 31,5                | 7    | 0,34  |
|              | 38          | 5,6     | 13,8     | ВВГ 5× 2,5   | 27                  | 0,91           | 24,6                | 20                  | 29   | 1,44  |
|              | 39          | 28,0    | 69,2     | ВВГ 5× 35    | 131                 | 0,91           | 119,2               | 100                 | 23   | 0,41  |
|              | 40          | 20,0    | 49,4     | ВВГ 5× 16    | 81                  | 0,91           | 73,7                | 63                  | 20   | 0,56  |
|              | 41          | 20,0    | 49,4     | ВВГ 5× 16    | 81                  | 0,91           | 73,7                | 63                  | 14   | 0,39  |
|              | 42          | 10,6    | 34,0     | ВВГ 5× 10    | 61                  | 0,91           | 55,5                | 50                  | 30   | 0,71  |
|              | 43          | 4,5     | 9,0      | ВВГ 5× 2,5   | 27                  | 0,91           | 24,6                | 16                  | 15   | 0,60  |
| ТП           | РП-4        | 63,0    | 155,6    | ВВГ 5× 95    | 255                 | 0,91           | 232,1               | 200                 | 10   | 0,15  |
| РП-4         | 44          | 49,4    | 122,0    | ВВГ 3× 70    | 210                 | 0,91           | 191,1               | 160                 | 15   | 0,24  |
|              | 45          | 4,0     | 9,9      | ВВГ 3× 2,5   | 27                  | 0,91           | 24,6                | 16                  | 21   | 0,75  |
|              | 46          | 28,0    | 69,2     | ВВГ 3× 35    | 131                 | 0,91           | 119,2               | 100                 | 12   | 0,21  |
|              | 47          | 16,3    | 40,1     | ВВГ 3× 16    | 81                  | 0,91           | 73,7                | 63                  | 18   | 0,41  |
|              | 48          | 32,5    | 80,3     | ВВГ 3× 35    | 131                 | 0,91           | 119,2               | 100                 | 12   | 0,25  |
|              | 49          | 32,5    | 80,3     | ВВГ 3× 35    | 131                 | 0,91           | 119,2               | 100                 | 15   | 0,31  |
|              | 50          | 14,0    | 28,1     | ВВГ 5× 6     | 45                  | 0,91           | 41,0                | 40                  | 20   | 1,04  |
| ТП           | РП-5        | 63,9    | 155,7    | ВВГ 5× 95    | 255                 | 0,91           | 232,1               | 200                 | 15   | 0,22  |
| РП-5         | 51          | 40,0    | 98,8     | ВВГ 5× 50    | 145                 | 0,91           | 132,0               | 125                 | 10   | 0,18  |
|              | 52          | 22,5    | 55,6     | ВВГ 5× 25    | 107                 | 0,91           | 97,4                | 80                  | 12   | 0,24  |
|              | 53          | 20,0    | 49,4     | ВВГ 5× 16    | 81                  | 0,91           | 73,7                | 63                  | 13   | 0,36  |
|              | 54          | 6,6     | 13,2     | ВВГ 5× 2,5   | 27                  | 0,91           | 24,6                | 20                  | 12   | 0,70  |
|              | 55          | 50,0    | 123,5    | ВВГ 5× 70    | 210                 | 0,91           | 191,1               | 160                 | 17   | 0,27  |
| ТП           | РП-6        | 93,3    | 203,3    | ВВГ 5× 240   | 464                 | 0,91           | 422,2               | 400                 | 32   | 0,28  |
| РП-6         | 56          | 30,0    | 74,1     | ВВГ 3× 35    | 131                 | 0,91           | 119,2               | 100                 | 15   | 0,29  |
|              | 57          | 60,0    | 148,2    | ВВГ 3× 95    | 255                 | 0,91           | 232,1               | 200                 | 13   | 0,18  |
|              | 58          | 90,0    | 222,3    | ВВГ 3× 185   | 391                 | 0,91           | 355,8               | 320                 | 15   | 0,16  |

Продолжение таблицы 7

|      |      |      |       |           |     |      |       |      |    |      |
|------|------|------|-------|-----------|-----|------|-------|------|----|------|
|      | 59   | 70,0 | 172,9 | ВВГ 3×120 | 298 | 0,91 | 271,2 | 250  | 18 | 0,23 |
|      | 60   | 6,6  | 11,2  | ВВГ 5×2,5 | 27  | 0,91 | 24,6  | 16   | 22 | 1,29 |
|      | 61   | 20,0 | 33,8  | ВВГ 5×10  | 61  | 0,91 | 55,5  | 50   | 15 | 0,67 |
|      | 62   | 3,3  | 5,6   | ВВГ 5×2,5 | 27  | 0,91 | 24,6  | 10   | 12 | 0,35 |
|      | 63   | 9,0  | 18,1  | ВВГ 5×4   | 35  | 0,91 | 31,9  | 25   | 5  | 0,25 |
| ТП   | РП-7 | 24,1 | 42,7  | ВВГ 5×16  | 81  | 0,91 | 73,7  | 63   | 26 | 0,87 |
| РП-7 | 64   | 14,0 | 23,7  | ВВГ 5×4   | 35  | 0,91 | 31,9  | 31,5 | 16 | 1,24 |
|      | 65   | 6,4  | 15,8  | ВВГ 5×4   | 35  | 0,91 | 31,9  | 25   | 10 | 0,36 |
|      | 66   | 8,0  | 13,5  | ВВГ 5×2,5 | 27  | 0,91 | 24,6  | 20   | 16 | 1,14 |
|      | 67   | 8,4  | 16,9  | ВВГ 5×4   | 35  | 0,91 | 31,9  | 25   | 24 | 1,12 |

Выбор сечений кабелей для КУ.

Выбор кабеля от КТП цеха до КУ выполняется по максимальному току

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{КУ}}^{\text{max}}, \quad (64)$$

где  $I_{\text{доп}}$  – «допустимый ток кабеля,

$I_{\text{КУ}}^{\text{max}}$  – максимальный ток КУ, А» [12];

$$I_{\text{КУ}}^{\text{max}} = 1,3 \cdot I_{\text{номКУ}}, \quad (65)$$

$$I_{\text{номКУ}} = \frac{Q_{\text{КУ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (66)$$

$$I_{\text{номКУ1}} = \frac{135}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 205 \text{ А},$$

$$I_{\text{КУ1}}^{\text{max}} = 1,3 \cdot 205 = 266,5 \text{ А},$$

$$I_{\text{номКУ2}} = \frac{75}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 114,1 \text{ А},$$

$$I_{\text{КУ2}}^{\text{max}} = 1,3 \cdot 114,1 = 148,3 \text{ А}.$$

«Выбирают до КУ1 кабель ВВГ 5×120 с допустимым током  $I_{\text{доп}} = 295 \text{ А}$ , до КУ2 – кабель ВВГ 5×50 с допустимым током  $I_{\text{доп}} = 170 \text{ А}$ » [16].

Выводы по разделу.

В четвёртом разделе ВКР выбраны кабели цеха.

## **5 Расчет токов КЗ и выбор электрооборудования цеха**

### **5.1 Расчет токов короткого замыкания**

Расчет ТКЗ требуется для выбора электрического оборудования, коммутационной аппаратуры. Расчет токов КЗ является важным этапом проектирования системы электроснабжения, поскольку он позволяет определить максимальные токи, которые могут возникнуть при коротком замыкании в сети.

Вначале выполняется анализ сетевой конфигурации цеха, включая количество и характеристики электрооборудования, расположенного в сети напряжением 0,4 кВ. Будут изучены электрические схемы и графы соединения оборудования, а также их технические параметры, такие как номинальное напряжение, ток, мощность и характеристики защиты.

На основе полученных данных «выполняется расчет токов КЗ с использованием соответствующих методик и формул. Будут учтены физические параметры системы, такие как сопротивления и реактивности проводников, тип и характеристики электрооборудования» [5], а также характеристики источников короткого замыкания.

Полученные результаты расчета токов КЗ будут использованы для оценки нагрузки на электрооборудование и проводников, а также для выбора и настройки соответствующей системы защиты от короткого замыкания. Будут рассмотрены требования к выбору автоматических выключателей, предохранителей и других элементов системы защиты, с учетом расчетных значений токов КЗ.

Расчётная схема представлена на рисунке 2.



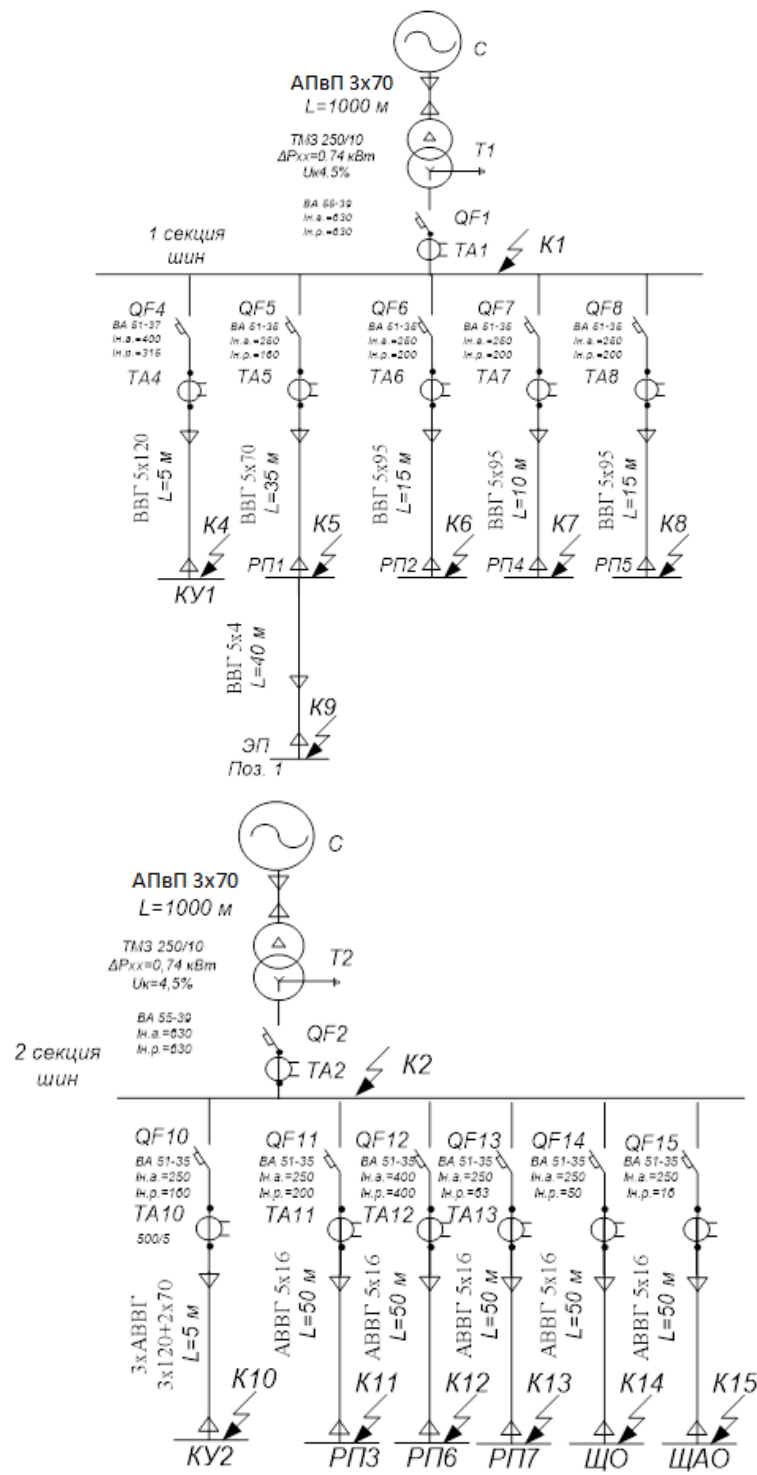


Рисунок 2 – Расчётная схема сети

«Далее составляют схему замещения, на которой указывают активные сопротивления и реактивные сопротивления, которые приведены к ступени напряжения электросети точки КЗ. Схема замещения для СШ1 представлена на рисунке 3, для СШ2 на рисунке 4» [14].

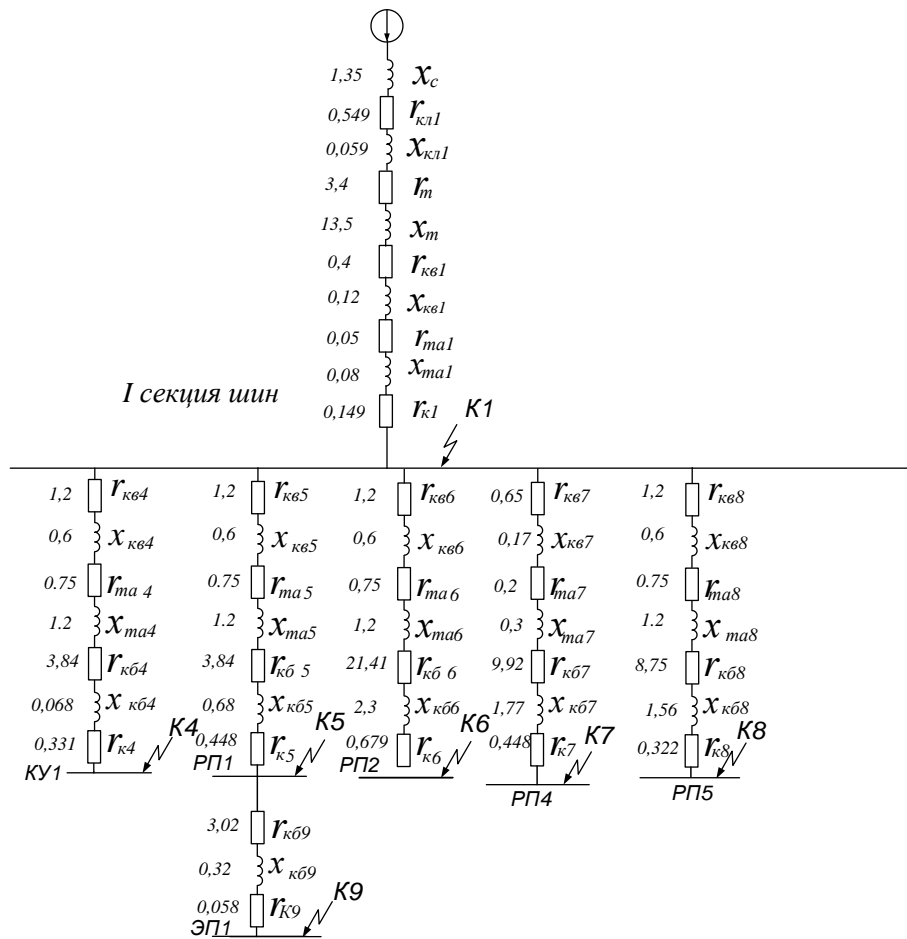


Рисунок 3 – Схема замещения сети (СШ1)

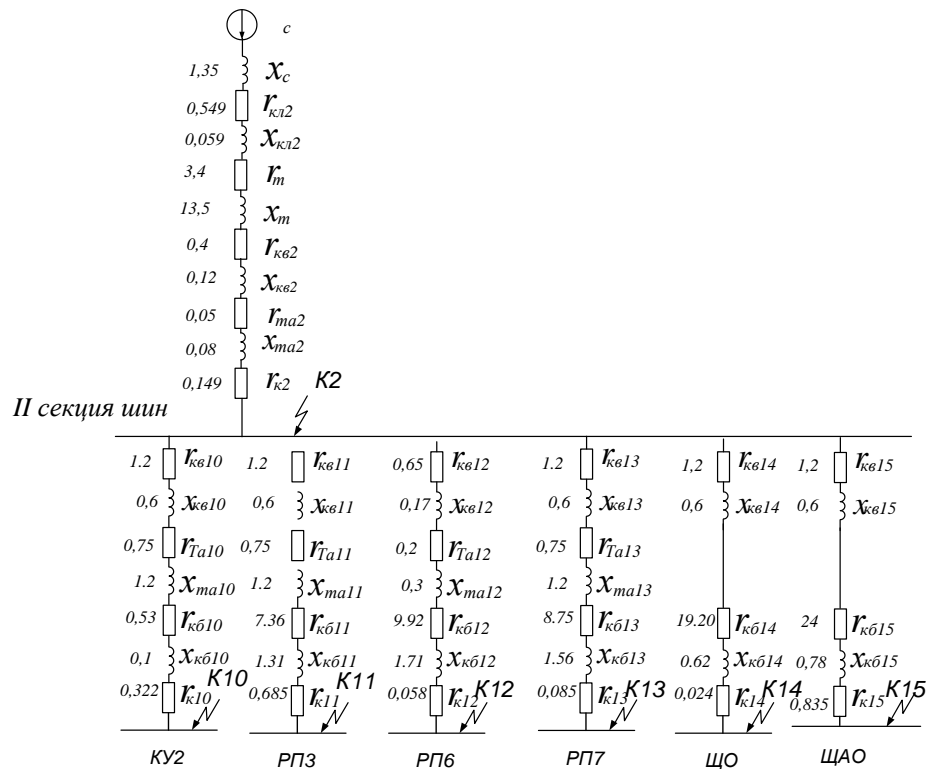


Рисунок 4 – Схема замещения сети (СШ2)

«Ниже приводится пример расчёта ТКЗ для т. К1.

Сопротивление энергосистемы» [14]:

$$x_c = \frac{U_{\text{срНН}}^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кВН}} \cdot U_{\text{срВН}}}, \quad (67)$$

где  $U_{\text{срНН}}$  – «напряжение НН трансформатора;  $U_{\text{срНН}} = 0,4$  кВ,

$U_{\text{срВН}}$  – напряжение ВН трансформатора,  $U_{\text{срВН}} = 10,5$  кВ» [14],

$I_{\text{кВН}}$  – ток КЗ на стороне 10 кВ трансформатора

$$x_c = \frac{0,4^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,5 \cdot 10,5} = 1,35.$$

Сопротивление силового трансформатора [5]:

$$r_{1T} = 3,4 \text{ мОм};$$

$$x_{1T} = 13,5 \text{ мОм}.$$

Для силового трансформатора, у которого схема соединения  $\Delta/Y_n$  [5]:

$$r_{0T} = r_{1T} = 3,4 \text{ мОм};$$

$$x_{0T} = x_{1T} = 13,5 \text{ мОм}.$$

Сопротивление расцепителей автомата ВА55–39 [5]:

$$r_{0\text{КВ}} = r_{\text{КВ}} = 0,4 \text{ мОм};$$

$$x_{0\text{КВ}} = x_{\text{КВ}} = 0,12 \text{ мОм}.$$

Активные и индуктивные сопротивления расцепителей автоматов по [5]:

для QF1, QF2:  $r_{\text{КВ}} = 0,4$  мОм;  $x_{\text{КВ}} = 0,12$  мОм;

для QF4, QF12:  $r_{кв} = 0,65$  мОм;  $x_{кв} = 0,17$  мОм;

для QF3, QF5, QF6, QF7, QF8, QF10, QF11, QF13, QF14, QF15:  $r_{кв} = 1,2$  мОм;  $x_{кв} = 0,6$  мОм;

«Активные сопротивления контактных соединений при трёхфазном КЗ (учитываются сопротивления разъемных контактов автоматических выключателей, контактных соединений кабелей) по» [5]:

$$r_{к1} = 0,12 + 0,029 = 0,149 \text{ мОм};$$

$$r_{к2} = 0,12 + 0,029 = 0,149 \text{ мОм};$$

$$r_{к4} = 0,25 + 3 \cdot 0,027 = 0,331 \text{ мОм};$$

$$r_{к5} = 0,4 + 2 \cdot 0,024 = 0,448 \text{ мОм};$$

$$r_{к6} = 0,65 + 0,029 = 0,679 \text{ мОм};$$

$$r_{к7} = 0,4 + 2 \cdot 0,024 = 0,448 \text{ мОм};$$

$$r_{к8} = 0,25 + 3 \cdot 0,024 = 0,322 \text{ мОм};$$

$$r_{к9} = 0,65 + 0,085 = 0,735 \text{ мОм};$$

$$r_{к10} = 0,25 + 3 \cdot 0,024 = 0,322 \text{ мОм};$$

$$r_{к11} = 0,65 + 0,085 = 0,685 \text{ мОм};$$

$$r_{к12} = 2 \cdot 0,029 = 0,058 \text{ мОм};$$

$$r_{к13} = 0,085 \text{ мОм};$$

$$r_{к14} = 0,024 \text{ мОм};$$

$$r_{к15} = 0,75 + 0,085 = 0,835 \text{ мОм}.$$

Активное сопротивление дуги при трёхфазном КЗ определяется по [5], мОм:

в случае короткого замыкания на СШ НН ТП –  $r_{д} = 7$ ;

в случае короткого замыкания на РП 1 –  $r_{д} = 8$ ;

в случае короткого замыкания на РП 2 –  $r_{д} = 9$ ;

в случае короткого замыкания на РП 3 –  $r_{д} = 10$ ;

в случае короткого замыкания на РП 4 –  $r_{д} = 11$ ;

в случае короткого замыкания на РП 5 –  $r_{д} = 10$ ;

в случае короткого замыкания на РП 6 –  $r_d = 11$ ;

в случае короткого замыкания на РП 7 –  $r_d = 12$ ;

в случае короткого замыкания на ЩО –  $r_d = 32$ ;

в случае короткого замыкания на ЩАО –  $r_d = 30$ ;

в случае короткого замыкания на КУ1 –  $r_d = 8$ ;

в случае короткого замыкания на КУ2 –  $r_d = 8$ .

«При определении активного сопротивления дуги в случае КЗ в кабеле длиной  $l_{кл}$ , подключенному к трансформатору через кабель, результирующую длину проводника определяем как» [14]:

$$l_{\Sigma} = l_{кл} + \frac{z \cdot l}{z_{кл}}, \quad (68)$$

где  $z$  – полные сопротивления прямой последовательности кабеля, которые определяются как, мОм:

$$z = \sqrt{r_1^2 + x_1^2}. \quad (69)$$

Общая длина до ЭП1:

$$\begin{aligned} z_{кл} &= \sqrt{81,25^2 + 0,676^2} = 81,25 \text{ м}; \\ z_{РП1-ЭП1} &= \sqrt{66,25^2 + 0,55^2} = 66,25 \text{ м}; \\ z_{СШ1-РП1} &= \sqrt{21,41^2 + 2,54^2} = 21,56 \text{ м}; \\ l_{\Sigma} &= 6,5 + \frac{66,25 \cdot 35}{81,25} + \frac{21,56 \cdot 40}{81,25} = 45,7 \text{ м}. \end{aligned}$$

Для  $l_{кб}=45,7$  из [5] находим  $r_d = 78$ .

Результаты расчета параметров схемы замещения представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчета параметров схемы замещения

| Линия   | $r_{KB}, \text{МОм}$ | $x_{KB}, \text{МОм}$ | $r_{TA}, \text{МОм}$ | $x_{TA}, \text{МОм}$ | $r_{KB}, \text{МОм}$ | $x_{KB}, \text{МОм}$ |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| КТП–РП1 | 1,2                  | 0,6                  | 0,75                 | 1,2                  | 3,84                 | 0,68                 |
| КТП–РП2 | 1,2                  | 0,6                  | 0,75                 | 1,2                  | 3,02                 | 0,32                 |
| КТП–РП3 | 1,2                  | 0,6                  | 0,75                 | 1,2                  | 7,36                 | 1,31                 |
| КТП–РП4 | 0,65                 | 0,17                 | 0,2                  | 0,3                  | 21,41                | 2,30                 |
| КТП–РП5 | 1,2                  | 0,6                  | 0,75                 | 1,2                  | 76,80                | 2,50                 |
| КТП–РП6 | 0,65                 | 0,17                 | 0,2                  | 0,3                  | 9,92                 | 1,77                 |
| КТП–РП7 | 1,2                  | 0,6                  | 0,75                 | 1,2                  | 8,75                 | 1,56                 |
| КТП–КУ1 | 1,2                  | 0,6                  | 0,75                 | 1,2                  | 19,20                | 0,62                 |
| КТП–КУ2 | 1,2                  | 0,6                  | 0,75                 | 1,2                  | 24,00                | 0,78                 |
| РП1–ЭП1 | 3,02                 | 0,32                 | –                    | –                    | 0,68                 | 0,10                 |
| КТП–ЩО  | 1,2                  | 0,6                  | –                    | –                    | 19,20                | 0,62                 |
| КТП–ЩАО | 1,2                  | 0,6                  | –                    | –                    | 24,00                | 0,78                 |

«Начальная действующая величина периодической составляющей тока трёхфазного КЗ» [14]:

$$I_{п0}^{(3)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (70)$$

где  $U_{ном}$  – «номинальное напряжение, В;

$r_{1\Sigma}, x_{1\Sigma}$  – суммарное активное и индуктивное сопротивление прямой последовательности цепи до т. КЗ, мОм» [14].

«Величина апериодической составляющей ТКЗ в момент возникновения КЗ» [14]:

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot I_{п0}^{(3)}. \quad (71)$$

Ударный ток короткого замыкания – это высокочастотный ток, который возникает в момент возникновения короткого замыкания в электрической сети. Он характеризуется очень быстрым нарастанием амплитуды и коротким временем действия.

Ударный ТКЗ может вызвать значительные повреждения оборудования и инфраструктуры, а также представлять опасность для безопасности

персонала. Поэтому его расчет и анализ являются важной частью проектирования системы электроснабжения.

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0}^{(3)} \cdot K_{уд}, \quad (72)$$

где  $K_{уд}$  – ударный коэффициент, о.е. [5].

Суммарное активное и индуктивное сопротивление прямой последовательности для максимального режима

$$r_{1\Sigma} = r_{кл} + r_T + r_{кв} + r_{та} + r_k, \quad (73)$$

$$x_{1\Sigma} = x_c + x_{кл} + x_T + x_{кв} + x_{та}, \quad (74)$$

$$r_{1\Sigma} = 0,549 + 3,4 + 0,4 + 0,05 + 0,0149 = 4,562,$$

$$x_{1\Sigma} = 1,35 + 0,059 + 13,5 + 0,12 + 0,08 = 15,106,$$

$$\frac{x_{1\Sigma}}{r_{1\Sigma}} = \frac{15,106}{4,562} = 3,31.$$

«Начальная действующая величина периодической составляющей тока трёхфазного КЗ для максимального режима» [14]:

$$I_{п0\max}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{4,562^2 + 15,106^2}} = 14,652 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ для максимального режима

$$\varphi_{K\max} = \arctg \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = \arctg \frac{15,106}{4,562} = 73,20,$$

$$t_{кз} = 0,01 \cdot \frac{90 + 73,20}{180} = 0,009,$$

$$T_a = \frac{15,106}{314 \cdot 4,562} = 0,011,$$

$$k_{\text{уд.мах}} = 1 + \sin(73,2) \cdot e^{\frac{0,009}{0,011}} = 1,422,$$

$$i_{\text{уд.мах}} = \sqrt{2} \cdot 14,652 \cdot 1,422 = 29,465 \text{ кА.}$$

Апериодическая составляющая ТКЗ

$$i_{\text{уд.мах}} = \sqrt{2} \cdot 14,652 = 20,721 \text{ кА.}$$

Для остальных точек КЗ расчёт выполняется аналогичным образом, результаты расчёта ТКЗ представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчёта ТКЗ

| Точка КЗ | $I_{\text{по(3)мах}}$ , кА | $I_{\text{удмах}}$ , кА | $I_{\text{амах}}$ , кА |
|----------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| К1       | 14,652                     | 29,465                  | 20,721                 |
| К2       | 14,652                     | 29,465                  | 20,721                 |
| К4       | 12,956                     | 26,054                  | 18,123                 |
| К5       | 12,944                     | 26,046                  | 18,112                 |
| К6       | 7,285                      | 15,251                  | 10,351                 |
| К7       | 10,105                     | 21,035                  | 14,935                 |
| К8       | 10,865                     | 22,452                  | 15,896                 |
| К9       | 11,463                     | 23,458                  | 16,867                 |
| К10      | 13,654                     | 28,065                  | 19,544                 |
| К11      | 11,152                     | 22,967                  | 16,452                 |
| К12      | 10,796                     | 22,362                  | 15,88                  |
| К13      | 10,878                     | 22,470                  | 15,906                 |
| К14      | 7,964                      | 16,456                  | 11,363                 |
| К15      | 6,198                      | 14,254                  | 9,054                  |

По результатам этих данных производится выбор аппаратуры.

## 5.2 Выбор защитной аппаратуры цеха

«Автоматические выключатели (АВ) – это электрические устройства, используемые для защиты электрических сетей от перегрузок и коротких замыканий» [8]. Они представляют собой комбинацию выключателя и



расцепителя, способных автоматически разрывать электрическую цепь при возникновении определенных условий.

Основная функция автоматических выключателей – это защита от перегрузок. Они мониторят ток, текущий через электрическую цепь, и если ток превышает предварительно установленное значение (номинальный ток выключателя), автоматически выключаются для предотвращения перегрузки и повреждения оборудования.

Кроме того, автоматические выключатели также предназначены для защиты от коротких замыканий. В случае возникновения короткого замыкания, когда ток резко возрастает до очень высокого значения, автоматический выключатель немедленно отключает электрическую цепь для предотвращения повреждения оборудования и возможных пожаров.

Автоматические выключатели имеют различные характеристики и параметры, такие как номинальный ток, номинальное напряжение, способность к разрыву тока короткого замыкания и характеристики времени срабатывания. Они могут быть однополюсными, двухполюсными или многополюсными, в зависимости от типа сети и требований конкретной установки.

«Рассматривается выбор автоматического выключателя на примере токарно–заточного станка.

Перед выбором защитных и коммутационных аппаратов необходимо определить номинальный ток по формуле» [8]:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_{\text{НОМ}}}, \quad (75)$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  – «номинальная активная мощность рассматриваемого электроприемника, кВт;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение внутрицеховой сети, кВ;

$\eta_{\text{НОМ}}$  – номинальный КПД;

$\cos \varphi_{\text{НОМ}}$  – номинальный коэффициент мощности» [8].

Значения  $P_{\text{ном}}$ ,  $\eta_{\text{ном}}$ , и  $\cos\varphi_{\text{ном}}$  указаны в исходных данных, тогда для токарно–затыловочного станка:

$$I_{\text{ном}} = \frac{3,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,4} = 16,1 \text{ А.}$$

Пусковой ток определяется по формуле:

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{р}} \cdot 5, \quad (76)$$

где  $I_{\text{р}}$  – расчётный ток, А

$$I_{\text{пуск}} = 5 \cdot 16,1 = 80,5 \text{ А.}$$

«Автоматические выключатели выбирают по:

– по номинальному напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст}}; \quad (77)$$

$$0,38 \geq 0,38;$$

– по номинальному току теплового расцепителя

$$I_{\text{т.р}} \geq K_{\text{т.р}} \cdot I_{\text{ном.эп}}; \quad (78)$$

где  $K_{\text{т.р}}$  – коэффициент теплового расцепителя, о.е.

$$I_{\text{т.р}} \geq 1,15 \cdot 16,1 = 18,5 \text{ А.}$$

Выбирается ближайшее большее значение тока теплового расцепителя

$$I_{\text{т.р}} = 20 \text{ А.}$$

– по номинальному току электромагнитного расцепителя» [8]:

$$I_{у.э.р.} \geq 1,2 \cdot I_{пуск}, \quad (79)$$

$$I_{у.э.р.} \geq 1,2 \cdot 80,5 = 96,6 \text{ А},$$

$$I_{у.э.р.} = K_{отс} \cdot I_{т.р.}, \quad (80)$$

где  $K_{отс}$  – «коэффициент отсечки электромагнитного расцепителя, о.е.

$$I_{у.э.р.} = 12 \cdot 20 = 240 \text{ А},$$

$$240 \text{ А} \geq 96,6 \text{ А},$$

– по номинальному току автоматического выключателя

$$I_{ном.ав.} \geq I_p, \quad (81)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии, А.

$$250 \geq 16,1 \text{ А}.$$

Расчетный ток определяется в зависимости от числа электроприемников, получающих питание по линии» [8]:

$$I_p = I_{ном.эп.}, \quad (82)$$

$$16,1 = 16,1 \text{ А}.$$

Технические характеристики автоматических выключателей приведены в [8].

Все условие выполняются, из этого следует что для фрезерного станка выбран автоматический выключатель ВА51–35 со следующими параметрами [8]:

$$I_{ном.ав.} = 250 \text{ А}$$

$$I_{т.р.} = 20 \text{ А}$$

$$I_{у.э.р.} = 12 \cdot 20 = 240 \text{ А}$$

«Далее выбор остальной защитной и коммутационной аппаратуры производится аналогично. Результаты в таблице 10» [8].

Таблица 10 – Выбор защитной и коммутационной аппаратуры

| УП   | Электроприемник |                 |               |                |           | Автоматический выключатель |                   |              |                  |
|------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|-----------|----------------------------|-------------------|--------------|------------------|
|      | № по плану      | $P_{ном}$ , кВт | $I_{ном}$ , А | $I_{пуск}$ , А | $k_{т.р}$ | Тип                        | $I_{ном.ав.}$ , А | $I_{тр}$ , А | $I_{у.э.р.}$ , А |
| ТП   | РП-1            | 19,0            | 63,1          | 315,6          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 160          | 1920             |
| РП-1 | 1               | 3,8             | 15,3          | 76,3           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 25           | 300              |
|      | 2               | 21              | 84,3          | 421,5          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 125          | 1500             |
|      | 3               | 2,4             | 9,6           | 48,2           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 16           | 192              |
|      | 4               | 5,6             | 22,5          | 112,4          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 32           | 384              |
|      | 5               | 6,8             | 27,3          | 136,5          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 40           | 480              |
|      | 6               | 1,7             | 6,8           | 34,1           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 10           | 120              |
|      | 7               | 9               | 36,1          | 180,6          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 50           | 600              |
|      | 8               | 2,54            | 10,2          | 51,0           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 16           | 192              |
|      | 9               | 9               | 24,1          | 120,4          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 40           | 480              |
|      | 10              | 5,1             | 13,6          | 68,2           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 20           | 240              |
|      | 11              | 2,8             | 7,5           | 37,5           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 10           | 120              |
|      | 12              | 3,4             | 9,1           | 45,5           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 16           | 192              |
|      | 13              | 2,825           | 11,3          | 56,7           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 16           | 192              |
|      | 14              | 4,2             | 16,9          | 84,3           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 25           | 300              |
|      | 15              | 4,91            | 13,1          | 65,7           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 20           | 240              |
|      | 16              | 0,5             | 1,6           | 8,0            | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 5            | 60               |
|      | 17              | 5,6             | 18,0          | 89,9           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 25           | 300              |
| ТП   | РП-2            | 31,3            | 100,8         | 504,2          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 200          | 2400             |
| РП-2 | 18              | 5,6             | 22,5          | 112,4          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 32           | 384              |
|      | 19              | 6,8             | 27,3          | 136,5          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 40           | 480              |
|      | 20              | 11,125          | 44,7          | 223,3          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 63           | 756              |
|      | 21              | 13,5            | 54,2          | 271,0          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 80           | 960              |
|      | 22              | 28              | 112,4         | 562,0          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 160          | 1920             |
|      | 23              | 9               | 36,1          | 180,6          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 50           | 600              |
|      | 24              | 1,7             | 6,8           | 34,1           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 10           | 120              |
|      | 25              | 26,1            | 104,8         | 523,8          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 160          | 1920             |
|      | 26              | 4,625           | 18,6          | 92,8           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 25           | 300              |
|      | 27              | 2               | 8,0           | 40,1           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 16           | 192              |
|      | 28              | 4,5             | 18,1          | 90,3           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 25           | 300              |
|      | 29              | 5,625           | 15,1          | 75,3           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 20           | 240              |
|      | 30              | 7,6             | 30,5          | 152,5          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 50           | 600              |
|      | 31              | 2,8             | 7,5           | 37,5           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 10           | 120              |
|      | 32              | 7,3             | 23,4          | 117,2          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 32           | 384              |
|      | 33              | 13,5            | 27,1          | 135,5          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 40           | 480              |
|      | ТП              | РП-3            | 34,7          | 92,3           | 461,6     | 1,25                       | ВА51-35           | 250          | 200              |
| РП-3 | 34              | 25,9            | 64,0          | 319,9          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 80           | 960              |
|      | 35              | 31,4            | 126,0         | 630,2          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 160          | 1920             |
|      | 36              | 3,4             | 8,4           | 42,0           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 16           | 192              |
|      | 37              | 8,825           | 21,8          | 109,0          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 32           | 384              |

Продолжение таблицы 10

| УП   | Электроприемник |                 |               |                |           | Автоматический выключатель |                   |              |                  |
|------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|-----------|----------------------------|-------------------|--------------|------------------|
|      | № по плану      | $P_{ном}$ , кВт | $I_{ном}$ , А | $I_{пуск}$ , А | $k_{т.р}$ | Тип                        | $I_{ном.ав.}$ , А | $I_{тр}$ , А | $I_{у.э.р.}$ , А |
| РП-3 | 38              | 5,6             | 13,8          | 69,2           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 20           | 240              |
|      | 39              | 28              | 69,2          | 345,8          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 100          | 1200             |
|      | 40              | 20              | 49,4          | 247,0          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 63           | 756              |
|      | 41              | 20              | 49,4          | 247,0          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 63           | 756              |
|      | 42              | 10,6            | 34,0          | 170,2          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 50           | 600              |
|      | 43              | 4,5             | 9,0           | 45,2           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 16           | 192              |
| ТП   | РП-4            | 63,0            | 155,6         | 777,8          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 200          | 2400             |
| РП-4 | 44              | 49,4            | 122,0         | 610,1          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 160          | 1920             |
|      | 45              | 4               | 9,9           | 49,4           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 16           | 192              |
|      | 46              | 28              | 69,2          | 345,8          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 100          | 1200             |
|      | 47              | 16,25           | 40,1          | 200,7          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 63           | 756              |
|      | 48              | 32,5            | 80,3          | 401,4          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 100          | 1200             |
|      | 49              | 32,5            | 80,3          | 401,4          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 100          | 1200             |
|      | 50              | 14              | 28,1          | 140,5          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 40           | 480              |
| ТП   | РП-5            | 63,9            | 155,7         | 778,5          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 200          | 2400             |
| РП-5 | 51              | 40              | 98,8          | 494,0          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 125          | 1500             |
|      | 52              | 22,5            | 55,6          | 277,9          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 80           | 960              |
|      | 53              | 20              | 49,4          | 247,0          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 63           | 756              |
|      | 54              | 6,6             | 13,2          | 66,2           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 20           | 240              |
|      | 55              | 50              | 123,5         | 617,6          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 160          | 1920             |
| ТП   | РП-6            | 93,3            | 203,3         | 1016,6         | 1,25      | ВА51-37                    | 400               | 400          | 4800             |
| РП-6 | 56              | 30              | 74,1          | 370,5          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 100          | 1200             |
|      | 57              | 60              | 148,2         | 741,1          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 200          | 2400             |
|      | 58              | 90              | 222,3         | 1111,6         | 1,25      | ВА51-37                    | 400               | 320          | 3840             |
|      | 59              | 70              | 172,9         | 864,6          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 250          | 3000             |
|      | 60              | 6,6             | 11,2          | 55,8           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 16           | 192              |
|      | 61              | 20              | 33,8          | 169,0          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 50           | 600              |
|      | 62              | 3,3             | 5,6           | 27,9           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 10           | 120              |
|      | 63              | 9               | 18,1          | 90,3           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 25           | 300              |
| ТП   | РП-7            | 24,1            | 42,7          | 213,5          | 1,25      | ВА51-35                    | 250               | 63           | 756              |
| РП-7 | 64              | 14              | 23,7          | 118,3          | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 32           | 384              |
|      | 65              | 6,4             | 15,8          | 79,0           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 25           | 300              |
|      | 66              | 8               | 13,5          | 67,6           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 20           | 240              |
|      | 67              | 8,4             | 16,9          | 84,3           | 1,35      | ВА51-35                    | 250               | 25           | 300              |

«Выбор автоматических выключателей системы электроосвещения.

Рассмотрим выбор автоматического выключателя на примере вводного автоматического выключателя щита ЩО.

По номинальному напряжению

$$U_{ном} \geq U_{ном.уст}; \quad (83)$$

$$0,38 \text{ кВ} \geq 0,38 \text{ кВ}.$$

По номинальному току теплового расцепителя

$$I_{т.р} \geq K_{т.р} \cdot I_p; \quad (84)$$

где  $K_{т.р}$  – коэффициент теплового расцепителя, о.е.

$$I_{т.р} \geq 1,15 \cdot 44,5 = 51,2 \text{ А}.$$

Выбирается ближайшее большее значение тока теплового расцепителя  $I_{т.р} = 63 \text{ А}$  [13].

По номинальному току электромагнитного расцепителя

$$I_{у.э.р} \geq 1,2 \cdot I_{пуск}, \quad (85)$$

где  $I_{пуск}$  – пусковой ток, для освещения пусковой ток равен рабочему, А

$$I_{пуск} = I_p = 44,5 \text{ А};$$

$$I_{у.э.р} \geq 1,2 \cdot 44,5 = 53,4 \text{ А}$$

$$I_{у.э.р} = K_{отс} \cdot I_{т.р}; \quad (86)$$

где  $K_{отс}$  – «коэффициент отсечки электромагнитного расцепителя, о.е.

$$I_{у.э.р} = 12 \cdot 63 = 756 \text{ А},$$

$$756 \text{ А} \geq 53,4 \text{ А}.$$

По номинальному току автоматического выключателя

$$I_{ном.ав} \geq I_p; \quad (87)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии, А» [13].

$$100 \text{ А} \geq 44,5 \text{ А}.$$

Технические характеристики автоматических выключателей приведены [13].

Все условия выполняются, из этого следует что щита рабочего освещения ЩО выбран автоматический выключатель ВА51–31 со следующими параметрами:

$$I_{\text{ном.ав}} = 100 \text{ А,}$$

$$I_{\text{т.р}} = 63 \text{ А,}$$

$$I_{\text{у.э.р}} = 12 \cdot 63 = 756 \text{ А.}$$

«Далее выбор остальных автоматических выключателей выполняется аналогично. Результаты расчета приведены в таблице 11» [8].

Таблица 11 – Выбор автоматических выключателей

| УП          | Электроприемник                         |                        |                      |                  | Автоматический выключатель |                         |                      |                        |
|-------------|---|------------------------|----------------------|------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
|             | № по плану                              | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $I_{\text{ном}}$ , А | $k_{\text{т.р}}$ | Тип                        | $I_{\text{ном.ав}}$ , А | $I_{\text{т.р}}$ , А | $I_{\text{у.э.р}}$ , А |
| РУ НН<br>ТП | ЩАО                                     | 1,25                   | 1,9                  | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 6                    | 72                     |
| РУ НН<br>ТП | ЩО                                      | 26,35                  | 44,5                 | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 63                   | 756                    |
| ЩО          | Освещение инструментального отделения   | 3,36                   | 17,0                 | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 25                   | 300                    |
| ЩО          | Освещение механического отделения       | 3,36                   | 17,0                 | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 25                   | 300                    |
| ЩО          | Освещение заготовительного отделения    | 2,56                   | 12,9                 | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 16                   | 192                    |
| ЩО          | Освещение кузнечно–прессового отделения | 1,92                   | 9,7                  | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 16                   | 192                    |
| ЩО          | Освещение сварочного участка            | 3,36                   | 17,0                 | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 25                   | 300                    |
| ЩО          | Освещение гальванического участка       | 3,84                   | 19,4                 | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 25                   | 300                    |
| ЩО          | Освещение термического отделения        | 2,88                   | 14,5                 | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 25                   | 300                    |
| ЩО          | Освещение КТП                           | 0,64                   | 3,2                  | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 6                    | 72                     |
| ЩО          | Освещение коридора, бытовых помещений   | 3,84                   | 19,4                 | 1,15             | ВА51–31                    | 100                     | 25                   | 300                    |

Выбор низковольтных распределительных устройств.

В данном случае использованы шкафы напольного исполнения ПР8501.

При выборе низковольтных распределительных устройств из серии ПР8501 для системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО», следует учесть ряд факторов и требований:

- по количеству отходящих линий РП–1 – 8шт.;
- по номинальному току силового шкафа  $I_{н.ш}$ , А:

$$I_{н.ш} \geq I_{р.ш}, \quad (88)$$

где  $I_{р.ш}$  – расчетный ток силового шкафа, А.

$$250 \geq 63,1 \text{ (РП–1)},$$

- по типу автоматических выключателей.

Результаты выбора распределительных пунктов заносятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Выбор распределительных пунктов

| Номер шкафа | Расчетные данные       |               |                                | Тип шкафа      | Каталожные данные      |                                     |
|-------------|------------------------|---------------|--------------------------------|----------------|------------------------|-------------------------------------|
|             | Кол-во отходящих линий | $I_{р.ш}$ , А | Тип АВ                         |                | Кол-во отходящих линий | Номинальный ток шкафа $I_{р.ш}$ , А |
| РП–1        | 17                     | 63,1          | ВА51–35–18 шт.                 | ПР 8501–X069–X | 26                     | 250                                 |
| РП–2        | 16                     | 100,8         | ВА51–35–17 шт.                 | ПР 8501–X069–X | 26                     | 250                                 |
| РП–3        | 10                     | 92,3          | ВА51–35–11 шт.                 | ПР 8501–X065–X | 16                     | 250                                 |
| РП–4        | 7                      | 155,6         | ВА51–35–8 шт.                  | ПР 8501–X066–X | 12                     | 250                                 |
| РП–5        | 5                      | 155,7         | ВА51–35–6 шт.                  | ПР 8501–X096–X | 6                      | 630                                 |
| РП–6        | 8                      | 203,3         | ВА51–35–7 шт.<br>ВА51–37–2 шт. | ПР 8501–X066–X | 12                     | 250                                 |
| РП–7        | 4                      | 42,7          | ВА51–35 –5 шт.                 | ПР 8501–X046–X | 6                      | 160                                 |
| ЩО          | 9                      | 38,4          | ВА51–35 –5 шт.                 | ПР 8501–X069–X | 26                     | 250                                 |

Выводы по разделу.

В пятом разделе ВКР рассчитаны токи короткого замыкания и выбрана защитная аппаратура цеха.



## 6 Расчет контура заземления ТП

«В качестве заземлителя выбирается стальная труба диаметром 55 мм, а в качестве соединительного элемента – стальная полоса шириной 50 мм.

Определяется значение электрического сопротивления растеканию тока в землю с одиночного заземлителя» [9]:

$$R_0 = 0,366 \cdot \frac{\rho \cdot K_c}{l} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot h + 1}{4 \cdot h - 1} \right), \quad (89)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта,  $\rho = 70$  Ом;

$K_c$  – коэффициент сезонности,  $K_c = 2,0$

$l$  – длина заземлителя,  $l = 2,7$  м;

$d$  – диаметр заземлителя,  $d = 55$  мм;

$t$  – расстояние от поверхности грунта до середины заземлителя» [9]

$$t = h + 0,5 \cdot l;$$

$$t = 0,65 + 0,5 \cdot 2,7 = 2 \text{ м};$$

$$R_0 = 0,366 \cdot \frac{70 \cdot 2}{2,7} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,055} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 2 + 2,7}{4 \cdot 2 - 2,7} \right) = 40,62 \text{ Ом.}$$

«Число заземлителей без учета взаимных помех, оказываемых заземлителями друг на друга, так называемого явления взаимного «экранирования» определяется по формуле» [9]:

$$n' = \frac{R_0}{R_{\text{зн}}}, \quad (90)$$

$$n' = \frac{40,62}{4} = 10,15 \approx 10.$$

«Число заземлителей с учетом коэффициента экранирования

определяется по формуле» [9]:

$$n = \frac{n'}{\eta_3}, \quad (91)$$

где  $\eta_3 = 0,58$  – «коэффициент экранирования» [9],

$$n = \frac{10}{0,58} = 17,24 \approx 18.$$

«Расстояние между заземлителями принимается равным  $a = l = 2,7$  м.

Длина соединительной полосы определяется по формуле» [9]:

$$l_{\Pi} = 1,05 \cdot n \cdot a, \quad (92)$$

$$l_{\Pi} = 1,05 \cdot 18 \cdot 2,7 = 51,03 \text{ м.}$$

«Полное значение сопротивления растеканию тока с соединительной полосы определяется по формуле» [9]:

$$R_{\Pi} = 0,366 \cdot \frac{\rho \cdot K_c}{l_n} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_n^2}{h \cdot b}; \quad (93)$$

$$R_{\Pi} = 0,366 \cdot \frac{70 \cdot 2}{51,03} \cdot \lg \frac{2 \cdot 51,03^2}{0,05 \cdot 0,65} = 5,2 \text{ Ом.}$$

«Полное значение сопротивления системы заземления определяется по формуле» [9]:

$$R_{3y} = \frac{R_0 \cdot R_{\Pi}}{R_0 \cdot \eta_n + R_{\Pi} \cdot \eta_3 \cdot n}, \quad (94)$$

где  $\eta_3 = 0,51$  – «коэффициент экранирования полосы» [9],

$$R_{\text{зз}} = \frac{40,62 \cdot 5,2}{40,62 \cdot 0,51 + 5,2 \cdot 0,58 \cdot 18} = 2,82 \text{ Ом.}$$

«Сопrotивление  $R_{\text{зз}} = 2,82 \text{ Ом}$  меньше допускаемого сопротивления, равного  $4 \text{ Ом}$ . Следовательно, диаметр заземлителя  $d = 55 \text{ мм}$  при числе заземлителей  $n = 18$  является достаточным для обеспечения защиты при выносной схеме расположения заземлителей» [9].

Выводы по разделу.

В разделе ВКР

В шестом разделе был осуществлен расчет контура заземления трансформаторной подстанции для обеспечения надежной работы системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО».

Расчет показал, что правильно спроектированный контур заземления существенно повышает «безопасность эксплуатации оборудования и защищает персонал от возможных электрических ударов. Определены необходимые параметры заземляющего устройства» [9], что позволит обеспечить допустимые значения сопротивления заземления в соответствии с действующими нормативами.

Также был учтен влияние климатических условий и характеристики грунта, что позволяет гарантировать эффективность заземления в любых условиях. Разработанные решения помогут минимизировать риски, связанные с аварийными ситуациями и предотвратить повреждение оборудования.

Таким образом, проведенный расчет контура заземления ТП является ключевым этапом проектирования, обеспечивая надежную защиту и безопасность, что способствует созданию безопасной и эффективной рабочей среды в ремонтном цехе.

## Заключение

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы было разработано проектирование системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО». Актуальность этой темы обусловлена необходимостью обеспечения надежного и эффективного энергоснабжения, что напрямую влияет на производительность и безопасность работы цеха.

Результаты проведенного анализа и расчетов позволили определить основные характеристики и параметры системы, выбрать оптимальные схемы подключения, а также рассмотреть меры по повышению надежности электроснабжения. Разработанные решения обеспечат бесперебойную работу оборудования, что снизит вероятность простоев и повысит общую эффективность производства.

Проведена всесторонняя оценка объекта проектирования — ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО». Анализ показал, что успешная работа цеха во многом зависит от надежности и эффективности системы электроснабжения. Результаты анализа создают основу для дальнейшего проектирования системы электроснабжения, позволяя разработать оптимальные решения, способствующие повышению производительности и устойчивости работы ремонтного цеха.

Выполнен расчет электрического освещения цеха методом коэффициента использования. К установке приняты светильники с люминесцентными лампами ЛСП02. Расчет освещения ТП выполнен точечным методом. К установке в ТП приняты светильники с люминесцентными лампами марки ПВЛМ. Выполнен расчет электрических нагрузок цеха.

Для электроснабжения цеха принята двухтрансформаторная 2КТП–250/10/0,4 с силовыми трансформаторами ТМЗ–250/10/0,4. КТП укомплектована следующим электрооборудованием:

– трансформатор типа ТМЗ – 250 – 10/0,4 – 2шт;

- шкаф ввода «типа ШНВ–3–03–2 шт;
- линейные шкафы типа ШНЛ–3–23 – 2 шт;
- секционный шкаф ШНС–1–11 – 1 шт.

Для компенсации реактивной мощности на первой секции шин 0,4 кВ устанавливается конденсаторная установка ККУ–0,38–135–У3 мощностью 135 квар, на второй секции шин устанавливается конденсаторная установка ККУ–0,38–75–У3 мощностью 75 квар» [25]. Установка компенсирующих устройств позволит улучшить качество электроэнергии, снизить нагрузку на электросети. «Для установки на вводе в ТП применяем выключатель нагрузки ВНРп–10/400 У3. В сочетании с выключателем нагрузки применяем предохранитель ПКТ103–10–12,5/25 У3.

Рассчитаны кабельные линии в цехе. Рассчитаны токи короткого замыкания. Выбрана защитная аппаратура цеха» [25]. Оптимальные параметры и выбор элементов системы электроснабжения основаны на принципах надежности, безопасности и энергетической эффективности. Учтены требования соответствующих стандартов и нормативных документов, а также потребности и особенности ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО».

Проведен расчет контура заземления ТП. В качестве вертикальных заземлителей выбраны 18 электродов, выполненных из стальной трубы диаметром 55 мм, а в качестве соединительного элемента – стальная полоса шириной 50 мм.

В целом, реализация предложенного проекта создаст прочную основу для стабильной работы ремонтного цеха ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО», способствуя его дальнейшему развитию и укреплению позиций на рынке.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. 416 с.
2. Анчарова Т.В. Осветительные сети производственных зданий (часть 1). М.: НТФ Энергопрогресс, 2008. 64 с.
3. Бакшаева Н.С. Расчёт электрических нагрузок, учебно-справочное пособие. Киров: Изд-во ВятГУ, 2008. 129 с.
4. Волобринский С.Д. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий. М., ДЕАН, 2006
5. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ // Консультант плюс: справочно-правовая система
6. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие. М.: КноРус, 2013. 368 с.
7. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение 2-е изд., справочник. Минск: Техноперспектива, 2008. 271 с.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение: Учебник. М.: Academia, 2016. 160 с
9. Маньков В. Д., Заграничный С. Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник. СПб.: Политехника, 2005. 400 с.
10. Общие сведения о предприятии ООО «ЗАВОД «ПРОФТЕРМО». URL: <https://proftermo.ru/proizvodstvo/> (дата обращения 10.10.2024)
11. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М.: Форум, 2018. 350 с.
12. Правила устройства электроустановок // Консультант плюс: справочно-правовая система
13. Рождествина А.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий (для бакалавров). М.: КноРус, 2013. 368 с.

14. Рожин А.Н., Бакшаева Н.С. Внутрицеховое электроснабжение. Учебное пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. 258 с.

15. РТМ 36.18.32.4–92 Руководящие указания по расчету электрических нагрузок // Консультант плюс: справочно-правовая система

16. Характеристики кабелей. URL: <http://www.kamkabel.ru> (дата обращения 10.10.2024)

17. Силовые трансформаторы, производства Минского электротехнического завода имени В.И. Козлова. URL: <http://metz.by> (дата обращения 10.10.2024)

18. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95 // Консультант плюс: справочно-правовая система

19. Степанов В.М., Косырихин В.С. Передача и распределение электроэнергии, расчеты линий электропередач и электрических сетей. Тула : Изд-во ТулГУ, 2012. 186 с.

20. Степанов В.М., Косырихин В.С. Расчёт и проектирование электрических сетей и систем. Тула : Изд-во ТулГУ, 2014. 351 с.

21. Степанов В.М., Косырихин В.С. Расчёт и проектирование электропитающих систем: монография. Тула : Изд-во ТулГУ, 2012. 351 с.

22. Степанов В.М., Косырихин В.С. Электроэнергетические системы и электрические сети: учебно-методическое пособие. Тула : Изд-во ТулГУ, 2013. 229 с.

23. Характеристики установок компенсации реактивной мощности завода «СлавЭнерго». URL: <http://slavenergo.ru> (дата обращения 10.10.2024)

24. Шеховцев В.П. Расчёт и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования: Учебное пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004.

25. Шеховцев В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, 2017. 136 с.