



## **Аннотация**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была спроектирована система электроснабжения аппаратного корпуса Тольяттинского Трансформатора.

Был произведен расчет как электрических, так и осветительных нагрузок. Для улучшения освещения на производстве произведен выбор ламп и светильников. По результатам технико-экономических показателей было выбрано число и мощность трансформаторов. Был выполнен выбор оборудования. Также был показан расчет токов короткого замыкания (КЗ) и осуществлена проверка защитной аппаратуры. Произведен расчет молниезащиты и заземления.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, восьми глав, заключения, списка использованной литературы.

В выпускной квалификационной работе 4 таблицы, 6 чертежей формата А1, 22 источника литературы, в том числе 5 из них на иностранном языке. Общее количество страниц в выпускной квалификационной работе – 62.

## **Abstract**

The graduation project consists of an explanatory note on 62 pages, including 4 figures, 7 tables, the list of 22 references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of the work is development of reliable and trouble-free system electrical equipment and electrical equipment of industrial building.

The object of the thesis is industrial building.

The work touches upon calculation of electrical and lighting loads, choice of types of transformers for given total costs. Calculation of currents of short circuit and check circuit breakers. Calculation of lightning protection and earthing.

The electrical system shall be designed economically for continuous and reliable services, safety to personnel and equipments, ease of maintenance and operation, minimum power losses, protection of equipment mechanically, interchangeability of equipments and addition of the loads.

Overall, the calculations suggest that power supply system engineering is an important network the industrial enterprise. It provides technological equipment and the entire enterprise. With the advent of new technologies and requirements for industrial energy system the power supply also become more modern and energy efficient.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 6  |
| 1 Характеристика объекта.....                                       | 8  |
| 2. Расчет электрических нагрузок.....                               | 9  |
| 2.1 Расчет электрических нагрузок от силовых потребителей.....      | 9  |
| 3. Расчет осветительной нагрузки.....                               | 13 |
| 3.1 Выбор ламп и светильников .....                                 | 14 |
| 3.2 Определение количества светильников.....                        | 15 |
| 3.3 Расчет активных и реактивных нагрузок освещения.....            | 20 |
| 3.4 Расчет суммарных электрических нагрузок.....                    | 20 |
| 4 Выбор силовых трансформаторов.....                                | 24 |
| 4.1 Вариант А.....  | 26 |
| 4.2 Вариант Б.....  | 32 |
| 5 Расчет нагрузок для шинопроводов и выбор электрооборудования..... | 36 |
| 5.1 Расчет нагрузок для ШРА1.....                                   | 36 |
| 5.2 Расчет нагрузок для ШРА2.....                                   | 38 |
| 5.3 Выбор электрооборудования для шинопроводов.....                 | 41 |
| 6 Расчет токов короткого замыкания.....                             | 44 |
| 6.1 Параметры рабочей схемы.....                                    | 45 |
| 6.2 Расчет токов КЗ.....  | 46 |
| 6.3 Расчет токов КЗ для точки К1.....                               | 48 |
| 6.4 Расчет токов КЗ для точки К2.....                               | 49 |
| 6.5 Расчет токов КЗ для точки КЗ.....                               | 50 |
| 6.6 Проверка оборудования.....                                      | 51 |
| 7 Расчет молниезащиты.....  | 53 |
| 8 Расчет заземления.....  | 56 |
| Заключение.....   | 60 |
| Список используемых источников.....                                 | 61 |

## Введение

Проектирование системы электроснабжения для аппаратного корпуса «Тольяттинского Трансформатора» является важной составляющей, как для предприятия, так и для всей промышленности. Является важным, из-за того, что данный корпус занимается обработкой деталей, после которой получается определенный вид продукции, которую можно получить только путем импорта из других стран. Долгие годы Россия формировала экономическую политику, наращивала импорт и экспорт. Доля российского импорта чрезвычайно высока, в энергетике она составляет 50% всех комплектующих. Но из-за введения в страну антироссийских санкций положение осложнилось. Для того чтобы нормализовать состояние экономики в стране, вводится система импортозамещения. Если разработать систему электрооборудования и электрохозяйства для различных предприятий, будь то парники для выращивания овощей или промышленные предприятия по производству оборудования и деталей, то станет возможным заменить импортные товары на отечественные.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы электрооборудования и электрохозяйства производственного здания.

Актуальность данной темы заключается в нескольких аспектах. Во-первых, это из-за введения санкций. И во-вторых из-за того, что с каждым годом промышленные предприятия потребляют огромное количество электроэнергии. И из года в год эти цифры растут, и поэтому стоит задуматься над созданием наиболее рациональных схем распределения энергетических ресурсов, которые в свою очередь должны соответствовать современным требованиям.

Система электроснабжения должна быть экономически предназначена для непрерывной и надежной работы, безопасности персонала и оборудования. Должна быть проста в обслуживании, эксплуатации и иметь минимальные

потери энергии. Для того чтобы достичь указанных целей и получить желаемый результат, необходимо исследовать и охватить следующие задачи:

- Рассчитать осветительные и электрические нагрузки;
- Выбрать лампы и светильники;
- Выбрать силовые трансформаторы;
- Выбрать количество ТП, выбрать оборудование;
- Рассчитать токи короткого замыкания и проверить оборудования;
- Рассчитать молниезащиту и заземление.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы будет разработана система электрооборудования и электрохозяйства производственного здания, которая удовлетворяет всем современным требованиям в рамках безопасности и надёжности электроснабжения.

## 1 Характеристика объекта

Объектом проектирования является аппаратный корпус, который располагается на территории «Гольяттинского Трансформатора».

Аппаратный корпус с общей площадью  $S = 22000\text{ м}^2$ , шириной  $110\text{ м}$ , длиной  $200\text{ м}$ , высотой  $9\text{ м}$ .

В данном здании помимо вспомогательных помещений, размещено станочное отделение, в котором установлены различного вида станки для обработки деталей. Которые относятся ко второй категории надежности электроснабжения и являются основными потребителями в здании.

Питание осуществляется с помощью комплектной трансформаторной подстанции (КТП), которая находится внутри корпуса.

В таблице 1.1 представлена ведомость электроприемников по цеху

Таблица 1.1 – Ведомость электроприемников по цеху

| Наименование электроприбора              | $P_{\text{пасп}}$ , кВт | п, штук |
|--|-------------------------|---------|
| 1  | 2                       | 3       |
| Однофазные                               |                         |         |
| Станок универсально-заточный 3Е642Б      | 2,2                     | 4       |
| Точильно-шлифовальный станок 3К634       | 2                       | 4       |
| Трехфазные                               |                         |         |
| Плоскошлифовальный станок Prota РВР-400А | 10,5                    | 10      |
| Токарный станок по металлу 163           | 13                      | 12      |
| Вертикально-сверлильный станок 21104Н7Ф4 | 5,5                     | 10      |
| Радиально-сверлильный станок 2А554Ф1-29  | 5,5                     | 10      |
| Агрегатный двухсторонний станок 1125 ИА  | 12                      | 10      |

## 2 Расчет электрических нагрузок

### 2.1 Расчет электрических нагрузок от силовых потребителей

Для расчета однофазных электроприемников следует распределить их равномерно между тремя фазами:

Распределим станок универсально-заточный 3Е642Б и Точильно-шлифовальный станок 3К634 с номинальными мощностями 2,2 кВт и 2 кВт между тремя фазами, и найдем условную трехфазную мощность:

$$P_{ab} = 1,5 \text{ кВт};$$

$$P_{ac} = 1,5 \text{ кВт};$$

$$P_{bc} = 1,2 \text{ кВт};$$

$$P_a = \frac{P_{ab} + P_{ac}}{2} = \frac{1,5 + 1,5}{2} = 1,5 \text{ кВт};$$

$$P_b = \frac{P_{ab} + P_{bc}}{2} = \frac{1,5 + 1,2}{2} = 1,35 \text{ кВт};$$

$$P_c = \frac{P_{bc} + P_{ac}}{2} = \frac{1,2 + 1,5}{2} = 1,35 \text{ кВт}.$$

По формуле 2.1 определяем величину неравномерности:

$$H = \frac{P_{\text{ф.наиб.}} - P_{\text{ф.наим.}}}{P_{\text{ф.наим.}}} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где  $P_{\text{ф.наиб.}}$  – мощность наиболее загруженной фазы;

$P_{\text{ф.наим.}}$  – мощность наименее загруженной фазы.

$$H = \frac{1,5 - 1,35}{1,35} \cdot 100 = 11,11\%.$$

По результатам расчетов величина неравномерности получилась ниже 15 %, поэтому условная трехфазная мощность принимается равной сумме трех фаз:

$$P_y^3 = P_a + P_b + P_c = 1,5 + 1,35 + 1,35 = 4,2 \text{ кВт.}$$

По формуле 2.2 рассчитываем суммарную активную мощность каждого вида трехфазного электроприёмников:

$$P_{H.\Sigma} = P_{НОМ} \cdot n, \quad (2.2)$$

где  $P_{НОМ}$  – активная мощность одного электроприемника;

$n$  – количество электроприемников.

Находим соответствующие коэффициенты использования ( $k_u$ ) и коэффициенты мощности ( $\cos \phi$ ) для каждого электроприемника.

По формуле 2.3 определяем коэффициент силовой сборки:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}}, \quad (2.3)$$

где  $P_{H.МАКС}$  – номинальная мощность самого мощного электроприемника;

$P_{H.МИН}$  – номинальная мощность самого маломощного электроприемника.

$$m = \frac{8,5}{0,06} = 141,67 \Rightarrow m > 3.$$

По формуле 2.4 для каждого вида электроприемников определяем среднесменную активную нагрузку:

$$P_{CM} = K_{II} \cdot P_{H.\Sigma}, \quad (2.4)$$

где  $K_{II}$  – коэффициент использования;

$P_{H.\Sigma}$  – суммарная номинальная мощность.

По формуле 2.5 для каждого вида электроприемников определяем среднесменную реактивную нагрузку:

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \phi \quad (2.5)$$

По формуле 2.6 определяем средний коэффициент использования по цеху:

$$K_{II.CP} = \frac{\sum P_{CM}}{\sum P_{H.\Sigma}}, \quad (2.6)$$

$$K_{II.CP} = \frac{123,42}{194,52} = 0,63 .$$

По формуле 2.7 определяем эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum P_{H.\Sigma})^2}{\sum P_{H.\Sigma}^2}, \quad (2.7)$$

где  $P_{H.\Sigma}$  – номинальная суммарная мощность группы электроприемников.

$$n_{\text{э}} = 50 \text{ шт.}$$

По [3] определяем коэффициент максимума:

$$K_M = 1,3$$

По формуле 2.8 находим расчетную активную нагрузку электроприемников:

$$P_p = K_M \cdot \sum P_{CM}; \quad (2.8)$$

$$P_p = 1,3 \cdot 78,3 = 101,8 \text{ кВт};$$

По формуле 2.9 определяем расчетную реактивную нагрузку электроприемников:

$$Q_p = \sum Q_{CM}; \quad (2.9)$$

$$Q_p = 78,3 \text{ квар.}$$

По формуле 2.10 находим полную расчетную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (2.10)$$

$$S_p = \sqrt{101,8^2 + 78,3^2} = 129,22 \text{ кВА.}$$

По формуле 2.11 находим расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (2.11)$$

$$I_p = \frac{129,22}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 186,7 \approx 190 \text{ А.}$$

### 3 Расчет осветительной нагрузки

Выбор освещения производился между установкой люминесцентных светильников и светодиодных светильников. Выбор был сделан в пользу светодиодных светильников, потому что на сегодняшний день самым энергосберегающим, самым чистым и наиболее экологичным способом освещения является светодиодное освещение, которое имеет множество удивительных преимуществ:

- Светодиоды производят больше света на ватт, чем лампы накаливания.
- Светодиоды могут излучать свет определенного цвета без использования цветных фильтров, а традиционные методы освещения требуют их использования. Это более эффективно и может снизить первоначальные затраты.
- Светодиодные лампы могут быть сконструированы так, чтобы сосредотачивать свет. Лампы накаливания и люминесцентные источники часто требуется внешний отражатель для сбора света и направления его в удобной форме.
- Светодиоды состоят из полупроводниковых элементов, которые трудно повредить внешним ударом. Лампы накаливания и люминесцентные лампы легко разрушаются, если подвергаются внешним ударам.
- Светодиоды имеют относительно долгий срок службы. Около 60 000 часов полезной работы, хотя времени до полного отказа больше. В то время как две люминесцентные лампы, как правило, оцениваются примерно в 30 000 часов работы.
- Светодиоды в основном не темнеют с течением времени.
- Светодиоды загораются очень быстро, в отличие от люминесцентных ламп.
- Светодиоды могут быть очень маленькими, и легко помещаются на печатных платах.

- Светодиоды не содержат ртути, в отличие от компактных люминесцентных ламп.

### 3.1 Выбор ламп и светильников

Для всех помещений в производственном здании высотой 9 м выбираем светодиодный светильник LE-ССП-22-200 КЕДР 200Вт представленный на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Светодиодный светильник LE-ССП-22-200 КЕДР 200Вт

Краткая характеристика светильника

Параметры ламп:

$$P = 200 \text{ Вт} ,$$

$$\Phi_{\text{л}} = 24200 \text{ лм} ,$$

$$\cos \phi = 0,9 .$$

Коэффициент запаса принят в зависимости от назначения помещения.

Для всех помещений приняты следующие коэффициенты отражения:  
потолок – 50%; пол – 30%; стены – 30%.

### 3.2 Определение количества светильников

Рабочее освещение должно обеспечивать необходимые условия для работы в нормальных условиях, создавая нормативную освещенность.

Определяем количество светильников для основного помещения. Требуемая горизонтальная освещенность:  $E = 300 \text{ лк}$ .

Коэффициент запаса берем для чистого помещения с трехгодичным циклом обслуживания:  $K_3 = 1,5$ .

Выбираются параметры помещения, а именно: коэффициент отражения пола:  $K_{отр.пол} = 30\%$ , коэффициент отражения стен:  $K_{отр.стен} = 30\%$ , коэффициент отражения потолка:  $K_{отр.потолка} = 50\%$ .

Световой поток ламп:  $\Phi_n = 24200 \text{ лм}$ .

Высота подвеса светильников:  $h_1 = 1 \text{ м}$ .

Высота рабочей поверхности:  $h_2 = 1 \text{ м}$ .

Высота основного помещения:  $H = 9 \text{ м}$ .

Рассчитываем основное помещения, считая выше перечисленные параметры одинаковыми для всех помещений.

Расчет станочного помещения

Что бы узнать коэффициент использования следует найти индекс помещения  $i$ :

$$i_1 = \frac{S}{H - h_1 - h_2 \cdot A + B} = \frac{15400}{9 - 1 - 1 \cdot 140 + 110} = 8,8, \quad (3.1)$$

где, А и В – длина и ширина соответственно:

$A = 140 \text{ м}$ ;

$B = 110 \text{ м}$ .

Коэффициент использования принимаем равный:  $\eta_1 = 0,68$

По формуле 3.2 определяем количество светильников:

$$N_1 = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_n} = \frac{300 \cdot 15400 \cdot 1,5}{0,68 \cdot 1 \cdot 24200} = 280 \text{ шт}, \quad (3.2)$$

где  $S_1 = 15400 \text{ м}^2$  – площадь основного помещения.

Определяем количество светильников для остальных помещений.

Расчеты производятся аналогично предыдущему пункту.

Рассчитываем 12 вспомогательных помещений, считая выше перечисленные параметры одинаковыми для всех помещений.

Расчет комнаты начальника цеха:

Индекс помещения  $i$ :

$$A = 20 \text{ м},$$

$$B = 30 \text{ м},$$

$$i_1 = \frac{S}{H - h_1 - h_2 \cdot A + B} = \frac{20 \cdot 30}{9 - 1 - 1 \cdot 20 + 30} = 1,71.$$

Коэффициент использования принимаем равный:  $\eta_1 = 0,48$ .

Расчет количества светильников:

$$S_1 = 600 \text{ м}^2,$$

$$n = 1 \text{ шт},$$

$$N_1 = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_n} = \frac{300 \cdot 600 \cdot 1,5}{0,48 \cdot 1 \cdot 24200} = 23 \text{ шт}.$$

Расчет ТП1:

Расчет выполняется аналогично предыдущему.

Индекс помещения  $i$ :

$$A = 10 \text{ м},$$

$$B = 10 \text{ м},$$

$$i_2 = \frac{S}{H - h_1 - h_2 \cdot A + B} = \frac{100}{9 - 1 - 1 \cdot 10 + 10} = 0,71.$$

Коэффициент использования принимаем равный:  $\eta_2 = 0,27$ .

Расчет количества светильников:

$$S_2 = 100 \text{ м}^2,$$

$$N_2 = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_n} = \frac{200 \cdot 100 \cdot 1,5}{0,27 \cdot 1 \cdot 24200} = 5 \text{ шт.}$$

Расчет коридора, санузла и склада готовой продукции

Расчет выполняется аналогично предыдущему.

Индекс помещения  $i$ :

$$A = 20 \text{ м},$$

$$B = 20 \text{ м},$$

$$i_3 = \frac{S}{H - h_1 - h_2 \cdot A + B} = \frac{400}{9 - 1 - 1 \cdot 20 + 20} = 1,42.$$

Коэффициент использования принимаем равный:  $\eta_3 = 0,44$ .

Расчет количества светильников:

$$S_3 = 400 \text{ м}^2,$$

$$N_3 = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_n} = \frac{200 \cdot 400 \cdot 1,5}{0,44 \cdot 1 \cdot 24200} = 11 \text{ шт.}$$

Расчет инструментальной

Расчет выполняется аналогично предыдущему.

Индекс помещения  $i$ :

$$A = 10 \text{ м},$$

$$B = 20 \text{ м},$$

$$i_3 = \frac{S}{H - h_1 - h_2 \cdot A + B} = \frac{200}{9 - 1 - 1 \cdot 10 + 20} = 0,95.$$

Коэффициент использования принимаем равный:  $\eta_3 = 0,34$ .

Расчет количества светильников:

$$S_3 = 200 \text{ м}^2,$$

$$N_3 = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\lambda}} = \frac{200 \cdot 200 \cdot 1,5}{0,34 \cdot 1 \cdot 24200} = 7 \text{ шт.}$$

Расчет помещения 4

Расчет выполняется аналогично предыдущему.

Индекс помещения  $i$ :

$$A = 19 \text{ м},$$

$$B = 37 \text{ м},$$

$$i_3 = \frac{S}{H - h_1 - h_2 \cdot A + B} = \frac{700}{9 - 1 - 1 \cdot 19 + 37} = 1,78.$$

Коэффициент использования принимаем равный:  $\eta_3 = 0,49$ .

Расчет количества светильников:

$$S_3 = 400 \text{ м}^2,$$

$$N_3 = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\lambda}} = \frac{200 \cdot 700 \cdot 1,5}{0,49 \cdot 1 \cdot 24200} = 18 \text{ шт.}$$

Расчет помещения 2

Расчет выполняется аналогично предыдущему.

Индекс помещения  $i$ :

$$A = 47 \text{ м},$$

$$B = 47 \text{ м},$$

$$i_3 = \frac{S}{H - h_1 - h_2 \cdot A + B} = \frac{2200}{9 - 1 - 1 \cdot 47 + 47} = 3,34.$$

Коэффициент использования принимаем равный:  $\eta_3 = 0,6$ .

Расчет количества светильников:

$$S_3 = 2200 \text{ м}^2,$$

$$N_3 = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_n} = \frac{200 \cdot 2200 \cdot 1,5}{0,6 \cdot 1 \cdot 24200} = 45 \text{ шт.}$$

Расчет склада заготовок

Расчет выполняется аналогично предыдущему.

Индекс помещения  $i$ :

$$A = 26 \text{ м},$$

$$B = 27 \text{ м},$$

$$i_3 = \frac{S}{H - h_1 - h_2 \cdot A + B} = \frac{700}{9 - 1 - 1 \cdot 26 + 27} = 1,89.$$

Коэффициент использования принимаем равный:  $\eta_3 = 0,5$ .

Расчет количества светильников:

$$S_3 = 400 \text{ м}^2,$$

$$N_3 = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_n} = \frac{200 \cdot 400 \cdot 1,5}{0,5 \cdot 1 \cdot 24200} = 17 \text{ шт.}$$

Расчет комнаты отдыха

Расчет выполняется аналогично предыдущему.

Индекс помещения  $i$ :

$$A = 40 \text{ м},$$

$$B = 20 \text{ м},$$

$$i_3 = \frac{S}{H - h_1 - h_2 \cdot A + B} = \frac{800}{9 - 1 - 1 \cdot 40 + 20} = 1,42.$$

Коэффициент использования принимаем равный:  $\eta_3 = 0,42$ .

Расчет количества светильников:

$$S_3 = 800 \text{ м}^2,$$

$$N_3 = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\lambda}} = \frac{300 \cdot 800 \cdot 1,5}{0,42 \cdot 1 \cdot 24200} = 35 \text{ шт}$$

### 3.3 Расчет активных и реактивных нагрузок освещения

Для основного помещения выписываем характеристики светильника:

Мощность одной лампы:  $P = 200 \text{ Вт}$ .

Количество ламп в светильнике:  $n = 1 \text{ шт}$ ,  $\text{tg}\phi = 0,49$ .

И находим активную и реактивную мощности:

Активная мощность:

$$P_{\text{осн.осв}} = N \cdot n \cdot P_{\text{лампы}} = 200 \cdot 1 \cdot 200 = 56 \text{ кВт}.$$

Реактивная мощность:

$$Q_{\text{осн.осв}} = P_{\text{осн.осв}} \cdot \text{tg}\phi = 56 \cdot 0,49 = 27,44 \text{ квар}$$

Расчет оставшихся помещений рассчитываем аналогично.

### 3.4 Расчет суммарных нагрузок

По формуле 3.3 находим суммарную активную мощность:

$$P_{\Sigma} = P_P + P_{p.ocs}, \quad (3.3)$$

$$P_{\Sigma} = 101,8 + 96,2 = 198 \text{ кВт};$$

По формуле 3.4 находим суммарную реактивную мощность:

$$Q_{\Sigma} = Q_P + Q_{p.ocs}; \quad (3.4)$$

$$Q_{\Sigma} = 78,3 + 47,14 = 125,44 \text{ квар.}$$

По формуле 2.10 находим полную суммарную нагрузку:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{198^2 + 125,44^2} = 236,3 \text{ кВА.}$$

По формуле 2.11 определяем рабочий ток суммарной нагрузки:

$$I_{p.ocs} = \frac{236,3}{1,73 \cdot 0,4} = 190 \text{ А.}$$

В таблице 3.1 приведены результаты расчета электрических нагрузок.

Таблица 3.1 – Результаты после проведения расчетов электрических нагрузок до 1кВ

| Наименование ЭП                          | $P_n$ , кВт | n, штук | $P_n \Sigma$ , кВт | $K_{и}$ | $\cos \phi$ | $\operatorname{tg} \phi$ | m | $P_{см}$ , кВт | $Q_{см}$ , квар | nэ | $K_M$ | $P_p$ , кВт | $Q_p$ , квар | $S_p$ , кВА | $I_p$ , А |
|--|-------------|---------|--------------------|---------|-------------|--------------------------|---|----------------|-----------------|----|-------|-------------|--------------|-------------|-----------|
| 1  | 2           | 3       | 4                  | 5       | 6           | 7                        | 8 | 9              | 10              | 11 | 12    | 13          | 14           | 15          | 16        |
| Однофазные                               |             |         |                    |         |             |                          |   |                |                 |    |       |             |              |             |           |
| Станок универсально-заточный 3Е642Б      | 2,2         | 4       | 16,8               | 0,14    | 0,5         | 1,73                     |   | 2,35           | 4,06            |    |       | -           | -            | -           | -         |
| Точильно-шлифовальный станок 3К634       | 2           | 4       |                    | 0,14    | 0,5         | 1,73                     |   |                |                 |    |       |             |              |             |           |
| Трехфазные                               |             |         |                    |         |             |                          |   |                |                 |    |       |             |              |             |           |
| Плоскошлифовальный станок Proma PBP-400А | 10,5        | 10      | 105                | 0,14    | 0,5         | 1,73                     |   | 14,7           | 25,43           |    |       | -           | -            | -           | -         |
| Токарный станок по металлу 163           | 13          | 12      | 156                | 0,14    | 0,5         | 1,73                     |   | 21,8<br>4      | 37,78           |    |       | -           | -            | -           | -         |
| Вертикально-сверлильный станок 21104Н7Ф4 | 5,5         | 10      | 55                 | 0,14    | 0,5         | 1,73                     |   | 7,7            | 13,32           |    |       | -           | -            | -           | -         |
| Радиально-сверлильный станок 2А554Ф1-29  | 5,5         | 10      | 55                 | 0,14    | 0,5         | 1,73                     |   | 7,7            | 13,32           |    |       | -           | -            | -           | -         |
| Агрегатный двухсторонний станок 1125 ИА  | 12          | 10      | 120                | 0,2     | 0,65        | 1,17                     |   | 24             | 28,08           |    |       | -           | -            | -           | -         |

Продолжение таблицы 3.1

| 1                              | 2              | 3              | 4                     | 5       | 6           | 7                        | 8  | 9                 | 10                 | 11 | 12    | 13             | 14              | 15             | 16        |
|--------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|---------|-------------|--------------------------|----|-------------------|--------------------|----|-------|----------------|-----------------|----------------|-----------|
| Наименование<br>ЭП             | $P_n$ ,<br>кВт | n,<br>шту<br>к | $P_n \Sigma$ ,<br>кВт | $K_{и}$ | $\cos \phi$ | $\operatorname{tg} \phi$ | m  | $P_{см}$ ,<br>кВт | $Q_{см}$ ,<br>квар | nэ | $K_M$ | $P_p$ ,<br>кВт | $Q_p$ ,<br>квар | $S_p$ ,<br>кВА | $I_p$ , А |
| Итоги по цеху<br>без освещения | 13/2           | 60             | 507,8                 | 0,63    | –           | –                        | >3 | 78,3              | 122                | 50 | 1,3   | 101,8          | 78,3            | 129,2          | 190       |
| Осветительная<br>нагрузка      | –              | –              | –                     | –       | 0,95        | 0,33                     | –  | –                 | –                  | –  | –     | 96,2           | 47,14           | 107,1          |           |
| Итоги по цеху с<br>освещением  |                |                |                       |         |             |                          |    |                   |                    |    |       | 198            | 125,44          | 236,3          |           |

## 4 Выбор силовых трансформаторов

Относительная простота трансформаторов опровергает их важность. Трансформаторы широко распространены в электрических системах переменного тока, используемых в приборах, преобразователях, измерительных приборах, строительных инструментах и всевозможных электронных устройствах. Трансформаторы также являются ключевым компонентом для передачи и распределения электрической энергии. Один из руководящих принципов энергетики является то, что передача энергии при более высоких напряжениях эффективнее. Поэтому инженеры используют трансформаторы на электростанциях, для выработки электроэнергии и для передачи на большие расстояния. Ближе к городам, подстанции и распределительные трансформаторы на ступень напряжения ниже для доставки электроэнергии для коммерческих, промышленных и жилых нагрузок.

Трансформатор – это статическое электрическое устройство, используемое для передачи электрической энергии посредством электромагнитной индукции из одной цепи переменного тока в другую – на той же частоте, но с разными значениям напряжения и тока – без прямого электрического соединения между двумя цепями.

Когда подается напряжение от источника переменного тока к первичной (входной) обмотке, постоянный реверсивный ток создает магнитное поле. Это магнитное поле имеет определенный магнитный поток, связанный с ним, который протекает через поверхность сердечника трансформатора, пока не достигнет вторичной (выходной) обмотки, в которой наводится электромагнитная сила и производит вторичное напряжение. Соотношение витков в первичной обмотке до витков во вторичной обмотке определяет, является ли трансформатор на ступень напряжения выше или ниже.

Есть широкий выбор трансформаторов для различного использования, но все они работают по единым базовым принципам. Коэффициент трансформации – это соотношение числа первичных витков обмотки к числу

вторичных витков пропорционально отношению первичного напряжения до вторичного напряжения. Единица измерения, используемая для определения номинальной мощности трансформатора в киловольт-амперах (кВА).

Общие отличительные особенности включают в себя: количество фаз (однофазный, 3-фазный или многофазный), количество витков (один, два или несколько), способ охлаждения (сухой тип или водный).

При проектировании системы электроснабжения следует оценить последствия затрат и надежности системы. Данный вид оценки становится еще более важным в критических условиях. Трансформатор является лишь одним из компонентов в сложных системах распределения электроэнергии.

Для того чтобы произвести расчет и выбор силовых трансформаторов, необходимо знать исходные данные, такие как:

Расчетная активная мощность,  $P_p = 198$  кВт;

Расчетная реактивная мощность,  $Q_p = 125,44$  квар;

Расчетная полная мощность,  $S_p = 236,3$  кВА.

Количество трансформаторов в КТП берем равным двум. Так как потребители относятся ко II категории электроснабжения. Коэффициент загрузки трансформатора принимаем равным 0,8.

$$N_T = 2 \text{ шт.},$$

$$K_3 = 0,8.$$

Рассчитаем мощность трансформатора:

$$S_n = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_T} = \frac{198}{0,8 \cdot 2} = 124 \text{ кВА}$$

Производим выбор силовых трансформаторов из двух вариантов:

Вариант А: Двух трансформаторная КТП с трансформаторами ТСЛ-160/10/0,4 – У/УН-0;

Вариант Б: Двух трансформаторная КТП с трансформаторами ТСЛ-250/10/0,4 – У/УН-0.

Преимущества трансформаторов сухого типа представлены ниже:

- Безопасность для людей и имущества.
- Техническое обслуживание.
- Легкая установка.
- Боковой зазор меньше.
- Экологически чистый.
- Отличные возможности для поддержки перегрузки.
- Снижение затрат на строительство гражданских установок и систем противопожарной защиты.
- Отличная производительность в случае сейсмических событий.
- Отсутствие опасности пожара.
- Превосходное сопротивление для токов короткого замыкания.
- Подходит для влажных и загрязненных мест.

#### 4.1 Вариант А

В варианте А, рассмотрим выбор двухтрансформаторной КТП с трансформаторами ТСЛ-160/10/0,4 – У/УН-0.

Необходимые параметры трансформатора определяем по каталогу [8]:

$$\Delta P_{xx} = 0,6 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 2,7 \text{ кВт};$$

$$U_{кз} = 6 \text{ \%};$$

$$S_n = 160 \text{ кВА};$$

$$i_0 = 1,5 \text{ \%}.$$

По формулам 4.1 и 4.2 рассчитаем потери в трансформаторе:

$$\Delta P_{T\Sigma} = N_T \cdot P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз} ; \quad (4.1)$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = N_T \cdot i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз} \cdot \frac{S_H}{100} , \quad (4.2)$$

где,  $P_{xx}$  – потери холостого хода;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$N_T$  – количество трансформаторов;

$i_0$  – ток холостого хода;

$U_{кз}$  – напряжение короткого замыкания;

$P_{кз}$  – потери короткого замыкания.

$$\Delta P_{T\Sigma} = 2 \cdot (0,6 + 0,8^2 \cdot 2,7) = 4,1 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = 2 \cdot (1,5 + 0,8^2 \cdot 6) \cdot \frac{160}{100} = 11,5 .$$

Определяем расчетную нагрузку по зданию с учетом активных потерь в трансформаторах по формуле 4.3:

$$P_p = P_p + \Delta P_{T\Sigma} ; \quad (4.3)$$

$$P_p = 198 + 4,1 = 202,1 \text{ кВт},$$

где  $P_p$  – активная мощность;

$\Delta P_{T\Sigma}$  – активные потери в трансформаторе.

Определяем расчетную нагрузку по зданию с учетом реактивных потерь в трансформаторах по формуле 4.4:

$$Q_p = Q_p + \Delta Q_{T\Sigma} , \quad (4.4)$$

$$Q_p = 125,44 + 11,5 = 137 \text{ квар.}$$

где  $Q_p$  – реактивная мощность;

$\Delta Q_{T\Sigma}$  – реактивные потери в трансформаторе.

По формуле 4.5 найдем реактивную мощность в часы минимума нагрузки:

$$Q_{\min} = Q_p \cdot 0,5, \quad (4.5)$$

где  $Q_p$  – реактивная расчётная нагрузка здания с учётом потерь в трансформаторе.

$$Q_{\min} = 137 \cdot 0,5 = 68,5 \text{ квар.}$$

Расчет экономически обоснованных значений реактивной мощности в часы максимума энергосистемы произведем по формулам 4.6 и 4.7:

$$Q_{\min} = Q_p \cdot 0,5, \quad (4.6)$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (4.7)$$

где  $Q_p$  – реактивная расчетная нагрузка корпуса с учётом потерь в трансформаторе;

$P_p$  – активная расчетная нагрузка корпуса с учётом потерь в трансформаторе,  $\alpha = 0,28$ ,  $Q_{\text{сд}} = 0$ .

$$Q'_{\text{э1}} = 137 - 0,7 \cdot 0 = 137 \text{ квар;}$$

$$Q''_{\text{э}1} = 0,28 \cdot 202,1 = 56,6 \text{ квар.}$$

Из-за того, что в часы максимальных нагрузок, пониженное напряжение, то принимаем меньшее из значений.  $Q_{\text{э}1} = 56,6$  квар.

По формулам 4.8 и 4.9 произведем расчет экономически обоснованных значений реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}; \quad (4.8)$$

$$Q''_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{КД}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{P}} - Q_{\text{э}1}, \quad (4.9)$$

где,  $Q_{\text{P}}$  – реактивная расчетная нагрузка корпуса с учётом потерь в трансформаторе;

$Q_{\text{э}1}$  – значение реактивной мощности в часы максимума энергосистемы;

$Q_{\text{min}}$  – реактивная мощность в часы минимума нагрузки.

$$Q'_{\text{э}2} = 68,5 + 0 = 68,5 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э}2} = 68,5 - 137 - 56,6 = -11,9 \text{ квар.}$$

Из-за того, что в часы минимальных нагрузок повышенное напряжение, то принимаем большее из значений.  $Q_{\text{э}2} = 68,5$  квар.

Рассчитаем суммарную мощность компенсирующих устройств по формулам 4.10 и 4.11:

$$Q_{\text{ку.маx}} = 1,1 \cdot Q_{\text{P}} - Q_{\text{э}1}; \quad (4.10)$$

$$Q_{\text{ку.миn}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э}2}, \quad (4.11)$$

где,  $Q_{\text{с1}}$  – значение реактивной мощности в часы максимума энергосистемы;  
 $Q_{\text{min}}$  – реактивная мощность в часы минимума нагрузки;  
 $Q_{\text{с2}}$  – значение реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок;  
 $Q_p$  – реактивная расчётная нагрузка здания с учётом потерь в трансформаторах.

$$Q_{\text{кв. max}} = 1,1 \cdot 137 - 56,6 = 94,1 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{кв. min}} = 68,5 - 68,5 = 0 \text{ квар}.$$

По формуле 4.12 рассчитаем реактивную мощность, которая может быть передана из сети 6/10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{N_T \cdot K_3 \cdot S_n^2 - P_p^2}, \quad (4.12)$$

Где  $N_T$  – количество трансформаторов;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$S_T$  – мощность трансформатора;

$P_p$  – активная расчетная нагрузка.

$$Q_T = \sqrt{2 \cdot 0,8 \cdot 160^2 - 198^2} = 162,3 \text{ квар}.$$

Находим мощность компенсирующих устройств, устанавливаемых на стороне до 1 кВ по формуле 4.13:

$$Q_{\text{кв. н}} = Q_p - Q_T \text{ квар} \quad (4.13)$$

где  $Q_p$  – реактивная расчётная нагрузка здания с учётом потерь в трансформаторе;

$Q_T$  – переданная из сети 10 кВ реактивная мощность в сеть с напряжением до 1 кВ.

$$Q_{KV.n} = 125,44 - 162,3 = -36,86 \text{ квар.}$$

На стороне 10 кВ устанавливать компенсирующие устройства нецелесообразно.

По формуле 4.14 производим расчет затрат на установку КТП с трансформаторами ТСЛ-160/10/0,4 – У/Ун-0 находятся по формуле 28:

$$Z_{кТП} = E \cdot K_{ТП} + C \cdot \Delta P_T \cdot N_T, \quad (4.14)$$

где  $E$  – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложения в КТП;

$K_{ТП}$  – стоимость двух трансформаторов и КТП;

$C$  – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь.

По формуле 4.15 определим стоимость КТП и двух трансформаторов:

$$K_{ТП} = K_{кТП} + K_T \cdot N_T, \quad (4.15)$$

где  $K_{кТП}$  – стоимость комплектной трансформаторной подстанции без учета стоимости трансформаторов;

$K_T$  – стоимость одного трансформатора;

$N_T$  – количество трансформаторов.

$$K_{ТП} = 284 + 372 \cdot 2 = 1028 \text{ тыс. руб.}$$

По формуле 4.16 определяется значение  $C \cdot \Delta P_T$ :

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} . \quad (4.16)$$

По формуле 4.17 рассчитаем удельную стоимость потерь холостого хода трансформатора:

$$C_0 = \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_P , \quad (4.17)$$

где  $\alpha$  – основная ставка двух ставочного тарифа;

$\beta$  – дополнительная плата за 1 кВт·час потреблённой электроэнергии;

$T_P$  – время работы трансформатора в году;

$T_M$  – время использования максимальной нагрузки предприятия в год.

$$C_0 = \left( \frac{12 \cdot 441}{4500} + 18 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 11,88 \text{ тыс. руб/кВт·год};$$

$$C \cdot \Delta P_T = 11,88 \cdot 0,6 + 0,049 \cdot 0,8^2 \cdot 2,7 = 7,22 \text{ тыс. руб.}$$

Общие затраты на установку КТП с двумя трансформаторами ТСЛ-160/10/0,4 – У/УН-0 составят:

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot 1028 + 7,22 \cdot 2 = 243,6 \text{ тыс. руб.}$$

## 4.2 Вариант Б

В варианте Б, рассмотрим выбор двух трансформаторной КТП с трансформаторами ТСЛ-250/10/0,4 – У/УН-0.

Необходимые параметры трансформатора определяем по каталогу [8]:

$$\Delta P_{xx} = 0,7 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 2,75 \text{ кВт};$$

$$U_{кз} = 4 \text{ \%};$$

$$S_n = 250 \text{ кВА};$$

$$i_0 = 0,6 \text{ \%}.$$

По уже известным формулам 4.1 и 4.2 находим потери в трансформаторе:

$$\Delta P_{T\Sigma} = 2 \cdot (0,7 + 0,8^2 \cdot 2,75) = 4,92 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = 2 \cdot (0,6 + 0,8^2 \cdot 4) = 6,32.$$

Определяем расчетную нагрузку по зданию с учетом активных и реактивных потерь в трансформаторах по формулам 4.3 и 4.4:

$$P_p = 198 + 4,92 = 202,92 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 125,44 + 6,32 = 131,76 \text{ квар}.$$

По формуле 4.5 рассчитаем реактивную мощность в часы минимума нагрузки:

$$Q_{\min} = 131,76 \cdot 0,5 = 65,88 \text{ квар}.$$

По формулам 4.6 и 4.7 определим экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q'_{\text{э1}} = 131,76 - 0,7 \cdot 0 = 131,76 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 202,92 = 56,82 \text{ квар}.$$

Из-за того, что в часы максимальных нагрузок, пониженное напряжение, то принимаем меньшее из значений.  $Q_{\text{э1}} = 56,82 \text{ квар}$ .

По формулам 4.8 и 4.9 определяем экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{\text{э2}} = 65,88 + 0 = 65,88 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э2}} = 65,88 - 131,76 - 56,82 = -9,06 \text{ квар}.$$

Из-за того, что в часы минимальных нагрузок повышенное напряжение, то принимаем большее из значений,  $Q_{\text{э2}} = 65,88$  квар.

находим суммарную мощность компенсирующих устройств по формулам 4.10 и 4.11:

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot 131,76 - 56,82 = 88,116 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{ку. min}} = 65,88 - 65,88 = 0 \text{ квар}.$$

Находим по формуле 4.12 реактивную мощность, которая должна быть передана из сети 6/10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{2 \cdot 0,8 \cdot 250^2 - 198^2} = 347,55 \text{ квар}.$$

Находим мощность компенсирующих устройств, устанавливаемых на стороне до 1 кВ по формуле 4.13:

$$Q_{\text{KV.н}} = 47,14 - 347,55 = -300,41 \text{ квар}.$$

На стороне 10 кВ установка компенсирующих устройств нецелесообразна.

По формуле 4.15 определим стоимость КТП и двух трансформаторов:

$$K_{\text{ТП}} = 286 + 464 \cdot 2 = 1214 \text{ тыс. руб.}$$

По формуле 4.16 определяется значение  $C \cdot \Delta P_T$ :

По формуле 4.17 рассчитаем удельную стоимость потерь холостого хода трансформатора:

$$C_0 = \left( \frac{12 \cdot 441}{4500} + 18 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 11,88 \text{ тыс. руб/кВт}\cdot\text{год};$$

$$C \cdot \Delta P_T = 11,88 \cdot 0,7 + 0,049 \cdot 0,8^2 \cdot 2,75 = 8,4 \text{ тыс. руб.}$$

Общие затраты на установку КТП с двумя трансформаторами ТСЛ-250/10/0,4 – У/Ун-0 составят:

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot 1214 + 8,4 \cdot 2 = 287,52 \text{ тыс. руб.}$$

По результатам технико-экономических расчетов выбираем вариант по наименьшим затратам (вариант А) – установке принимается двух трансформаторная комплектная трансформаторная подстанция с трансформаторами ТСЛ-160/10/0,4 – У/Ун-0.

Общие затраты равны 243,6 тыс.руб.

## **5 Расчет нагрузок для шинопроводов и выбор электрооборудования**

Учитывая сложность современных строительных проектов, гибкость распределения мощности является необходимым требованием. В промышленности акцент делается на непрерывную подачу энергии в качестве необходимого условия для многосменного производства.

Шинопроводы обеспечивают эффективное распределение энергии, они, быстро устанавливаются и обеспечивают высокую степень гибкости и безопасности. Они имеют ряд основных преимуществ:

- Простое конфигурирование сети
- Низкие требования к пространству
- Простое переоборудование в случае изменения местоположения и потребительских нагрузок
- Высокая стойкость к короткому замыканию
- Повышение безопасности планирования

Шинопроводы используются в качестве альтернативного варианта кабельной продукции.

Перед тем как приступить к выбору кабельных линий, автоматических выключателей и устройств защитного отключения, следует определить расчетные значения номинальных токов.

Распределим ЭП по шинопроводам и найдем значения номинальных токов.

### **5.1 Расчет нагрузок для ШРА1**

Расчет нагрузок для ШРА1 проводится аналогично расчету в пункте 2. Электроприемники запитанные от ШРА1:

- 1-10 – Вертикально-сверлильные станки;
- 11-20 – Плоскошлифовальные станки;
- 21-28 – Токарные станки;

Так как все эти электроприемники, запитаны группами, как и в пункте 2, то значения суммарных мощностей ( $P_{n\Sigma}, P_{CM\Sigma}, Q_{CM\Sigma}$ ) можно брать из таблицы 3.1.

Расчет суммарных мощностей:

$$P_{n\Sigma} = P_{n\Sigma(1-10)} + P_{n\Sigma(11-20)} + P_{n\Sigma(21-28)} = 55 + 105 + 104 = 264 \text{ кВт} ,$$

$$P_{CM\Sigma} = P_{CM\Sigma(1-10)} + P_{CM\Sigma(11-20)} + P_{CM\Sigma(21-28)} = 7,7 + 14,7 + 14,56 = 37 \text{ кВт}$$

$$Q_{CM\Sigma} = Q_{CM\Sigma(1-10)} + Q_{CM\Sigma(11-20)} + Q_{CM\Sigma(21-28)} = 64 \text{ квар}$$

$$P_{\max} / P_{\min} = 13 / 5,5 ,$$

$$m < 3 ,$$

$$\operatorname{tg} \phi_{\text{гр}} = 1,73 .$$

Групповой коэффициент использования:

$$K_{\text{Игр}} = 0,14 .$$

Эффективное число электроприемников:

Так как  $m < 3$ ,  $K_{\text{Игр}} \leq 0,2$ ,  $n > 5$ , то

$$n_{\text{э}} = \frac{\sum P_{n\Sigma}^2}{\sum P_{n\Sigma}^2} = \frac{264^2}{5,5^2 \cdot 10 + 10,5^2 \cdot 10 + 13^2 \cdot 8} \approx 25 .$$

Коэффициент максимума:

$$K_M = 1,65 .$$

Расчетные значения:

$$P_p = K_M \cdot P_{CM\Sigma} = 1,65 \cdot 37 = 61,05 \text{ кВт} .$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{CM\Sigma} = 1,1 \cdot 64 = 70,4 \text{ квар} ,$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{61,05^2 + 70,4^2} = 93,2 \text{ кВА} ,$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{93,2}{\sqrt{3} \cdot 380} = 0,141 \text{ кА} .$$

Все рассчитанные значения вписываются в таблицу 4.1, после чего выбирается электрооборудование.

## 5.2 Расчет нагрузок для ШРА2

Расчет нагрузок для ШРА2 проводится аналогично расчету в пункте 2. Электроприемники запитанные от ШРА2:

29-32 – Токарные станки;

33-36 – Заточные станки;

37-40 – Точильные станки;

41-50 – Агрегатные станки;

51-60 – Радиально-сверлильные станки.

Так как все эти электроприемники, запитаны группами, как и в пункте 2, то значения суммарных мощностей ( $P_{н\Sigma}$ ,  $P_{см\Sigma}$ ,  $Q_{см\Sigma}$ ) можно брать из таблицы 3.1.

Расчет суммарных мощностей:

$$P_{н\Sigma} = P_{н\Sigma(29-32)} + P_{н\Sigma(33-36)} + P_{н\Sigma(37-40)} + P_{н\Sigma(41-50)} + P_{н\Sigma(51-60)}$$
$$P_{н\Sigma} = 52 + 16,8 + 120 + 55 = 243,8 \text{ кВт}$$

$$P_{см\Sigma} = P_{см\Sigma(29-32)} + P_{см\Sigma(33-36)} + P_{см\Sigma(37-40)} + P_{см\Sigma(41-50)} + P_{см\Sigma(51-60)}$$
$$P_{см\Sigma} = 7,28 + 2,35 + 16,8 + 7,7 = 34,16 \text{ кВт}$$

$$Q_{см\Sigma} = Q_{см\Sigma(29-32)} + Q_{см\Sigma(33-36)} + Q_{см\Sigma(37-40)} + Q_{см\Sigma(41-50)} + Q_{см\Sigma(51-60)}$$
$$Q_{см\Sigma} = 12,6 + 4 + 29 + 13,3 = 59 \text{ квар}$$

$$P_{\max} / P_{\min} = 13/2,$$

$$m > 3,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{гр}} = 1,74.$$

Групповой коэффициент использования:

$$K_{\text{Игр}} = 0,14.$$

Эффективное число электроприемников:

Так как  $m > 3$ ,  $K_{\text{Игр}} \leq 0,2$ ,  $n > 5$ , то

$$n_{\mathcal{E}} = \frac{\sum P_{n\Sigma}^2}{\sum P_{n\Sigma}^2} = \frac{243,8^2}{13^2 \cdot 4 + 2,2^2 \cdot 4 + 2^2 \cdot 4 + 12^2 \cdot 10 + 5,5^2 \cdot 10} \approx 24,22.$$

Коэффициент максимума:

$$K_M = 1,57.$$

Расчетные значения:

$$P_P = K_M \cdot P_{CM\Sigma} = 1,57 \cdot 34,16 = 53,63 \text{ кВт}.$$

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_{CM\Sigma} = 1,1 \cdot 59 = 64,9 \text{ квар},$$

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{53,63^2 + 64,9^2} = 84,2 \text{ кВА},$$

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{84,2}{\sqrt{3} \cdot 380} = 0,128 \text{ кА}.$$

Все рассчитанные значения вписываются в таблицу 4.1, после чего выбирается электрооборудование.

Таблица 4.1 – Результаты расчета нагрузок с учетом разделения ЭП по шинпроводам

|           | $n, \text{шт}$ | $P_{\Sigma}, \text{кВт}$ | $K_{I_{\text{гр}}}$ | $\text{tg}\varphi$ | $m$ | $P_{\text{CM}\Sigma}, \text{кВт}$ | $Q_{\text{CM}\Sigma}, \text{квар}$ | $n_{\text{э}}, \text{шт}$ | $K_M$ | $P_p, \text{кВт}$ | $Q_p, \text{квар}$ | $S_p, \text{кВА}$ | $I_p, \text{кА}$ |
|-----------|----------------|--------------------------|---------------------|--------------------|-----|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|-------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| Для ШРА1  | 28             | 264                      | 0,14                | 1,73               | <3  | 37                                | 64                                 | 25                        | 1,65  | 61,05             | 70,4               | 93,2              | 0,141            |
| Для ШРА 2 | 32             | 243,8                    | 0,14                | 1,74               | <3  | 34,16                             | 59                                 | 24,22                     | 1,57  | 53,63             | 64,9               | 84,2              | 0,128            |

### 5.3 Выбор электрооборудования для шинопроводов

После того как все данные шинопроводов были рассчитаны и занесены в таблицу 4.1. Выбираем электрооборудование для этих шинопроводов. Выбор производят по расчетному току. Выбираем автоматические выключатели, сами шинопроводы, трансформаторы тока для них и устройства защитного отключения (УЗО).

Выбор УЗО выполнялся по каталогу [19].

В качестве силовых кабелей были выбраны кабели марки ВВГнг. Кабели выбирались по каталогу [9].

Для того, чтобы гарантировать устранение короткого замыкания в сети постоянного тока необходимо использовать автоматические выключатели, которые могут обеспечить:

- Быстрое расцепление с достаточной разрывной мощностью
- Высокие ограничения токов короткого замыкания
- Эффект снижения перенапряжения.

Поэтому, в качестве автоматического выключателя был выбран выключатель серии ВА, представленный на рисунке 2. Выбор производился по каталогу [10].



Рисунок 2.1 – Автоматический выключатель серии ВА

Выбор электрооборудования представлен в таблице 4.2. За рабочие токи электроприборов были приняты номинальные токи, взятые из технических паспортов.

**Для ШРА1:**

Выключатель ВА 51-35М2-34( $I_n = 160 A$ ).

Трансформатор тока Т-0,66-0,5-150/5 УЗ.

Кабель к ШРА 1 – ВВГнг 4х70 мм<sup>2</sup>.

Шинопровод - Canalis KSA160ED45010

**Для ШРА2:**

Выключатель ВА 51-35М2-34 ( $I_n = 160 A$ ).

Трансформатор тока Т-0,66-0,5-150/5 УЗ.

Кабель к ШРА 2 – ВВГнг 4х70 мм<sup>2</sup>.

Шинопровод - Canalis KSA160ED45010

Для общей нагрузки выбираем вводной выключатель и трансформатор тока по общему расчетному току вместе с освещением.  $I_p = 0,359 A$

Выключатель ВА 51-35М3-34 ( $I_n = 400 A$ , ток расцепителя 400 А).

Трансформатор тока Т-0,66-0,5-400/5 УЗ.

Таблица 4.2 – Выбор электрооборудования

| №     | ЭП  | $P_n, кВт$ | $\cos \varphi$ | $I_n, А$ | Выбранный кабель              | Выбранный выключатель          | Выбранный УЗО |
|-------|---|------------|----------------|----------|-------------------------------|--------------------------------|---------------|
| 1     | 2   | 3          | 4              | 5        | 6                             | 7                              | 8             |
| 1-10  | Вертикально-сверлильный станок<br>21104Н7Ф4 | 5,5        | 0,5            | 16,7     | ВВГнг<br>4х2,5мм <sup>2</sup> | ВА51-35М1-34<br>$I_n = 20 А$   | А9R50225      |
| 11-20 | Плоскошлифовальный станок<br>Ррома РВР-400А | 10,5       | 0,5            | 32       | ВВГнг<br>4х10 мм <sup>2</sup> | ВА51-35М1-34<br>$I_n = 40 А$   | А9R50250      |
| 21-32 | Токарный станок по металлу 163              | 13         | 0,5            | 39,6     | ВВГнг<br>4х10 мм <sup>2</sup> | ВА51-35М1-34<br>$I_n = 50 А$   | А9R50263      |
| 33-36 | Станок универсально-заточный<br>ЗЕ642Б      | 2,2        | 0,5            | 7        | ВВГнг<br>4х2,5мм <sup>2</sup> | ВА51-35М1-34<br>$I_n = 16 А$   | А9R50225      |
| 37-40 | Точильно-шлифовальный станок 3К634          | 2          | 0,65           | 6        | ВВГнг<br>4х2,5мм <sup>2</sup> | ВА51-35М1-34<br>$I_n = 16 А$   | А9R50225      |
| 41-50 | Агрегатный двухсторонний станок 1125<br>ИА  | 12         | 0,5            | 28       | ВВГнг<br>4х6 мм <sup>2</sup>  | ВА51-35М1-34<br>$I_n = 31,5 А$ | А9R50240      |
| 51-60 | Радиально-сверлильный станок<br>2А554Ф1-29  | 5,5        | 0,5            | 16,7     | ВВГнг<br>4х2,5мм <sup>2</sup> | ВА51-35М1-34<br>$I_n = 20 А$   | А9R50225      |

## **6 Расчет токов короткого замыкания**

Короткое замыкание-это один из типов неисправности в электрических системах. Оно происходит, когда непреднамеренное соединение создается между двумя компонентами, которые должны быть изолированы. Это может быть вызвано неисправностью проводов или деталей или внешних факторов, таких как влага или посторонние предметы. В результате, скачок напряжения может привести к повреждению системы и любых устройств, подключенных к ней. Короткое замыкание может быть опасно, как перегрев и своенравный ток может вызвать пожар и другие опасности.

Электричество используется, для направления электрического тока от источника питания к системе проводов, проводников и устройств, подключенных к этой системе. На языке электротехники, в результате обрыва цепи, электричество не будет течь по всей системе. Электричество из замкнутой цепи потечет в любой проводящий материал, который доступен. Когда проводящие материалы создают замкнутую цепь, где ее не должно существовать, в результате получается короткое замыкание.

Электрические провода помещены в изоляционные материалы, чтобы снизить вероятность короткого замыкания. Если изоляция удаляется или провода не были иным образом скомпрометированы, ток в системе может сделать резкий обход. Внешние факторы также могут создавать эти окольные пути, например ветки деревьев падают на неизолированные линии электропередач во время шторма. Мокрое дерево проводит ток от одной линии к другой, создавая непредвиденный всплеск энергии. Результат может быть сбой питания, так как система автоматически выключается, чтобы предотвратить дальнейшие повреждения.

Вода является высокопроводящим материалом. Один капля жидкости из одного неизолированного компонента в другой может создать короткое замыкание. Именно поэтому большинство электрических устройств должны быть защищены от влаги и не должны использоваться, если они промокают.

Кроме того, любые устройства или электрические системы должны быть выключены, если короткое замыкание обнаружено или подозревается. Квалифицированному специалисту необходимо как можно скорее проконсультироваться, чтобы избежать вероятность повреждения оборудования или даже худших последствий.

Короткое замыкание имеет низкое сопротивление. Следовательно, пораженный участок может перегреться или даже создать дугу неконтролируемого электричества. Это может привести к серьезным повреждениям компонентов и устройств, электрических ударов или даже пожары. По этой причине, большинство электрических систем оснащены предохранителями, автоматическими выключателями и аналогичными устройствами безопасности. В случае скачка напряжения, эти приборы создают разомкнутую цепь, отключая электричество во всей системе.

Для того чтобы убедиться в правильности выбора защитной аппаратуры необходимо определить токи короткого замыкания. Трехфазный ток короткого замыкания принимается как расчетный вид КЗ при проверке защитной аппаратуры.

Необходимо произвести расчет трехфазных токов короткого замыкания для точки К1, К2 и К3. Данные точки располагаются между самым мощным ЭП, который есть в здании, - токарный станок и между КТП.

Расчет производился, основываясь на методе симметричных составляющих.

## **6.1 Параметры расчётной схемы**

Трансформатор Т:

ТСЛ – 160; схема соединения обмоток  $Y/Y_H$ ;  $S_n = 160$  кВА;  $U_{H BH} = 10$  кВ;  
 $U_{H HH} = 0,4$  кВ;  $U_K = 6$  %;  $R_T = 16,6$  мОм;  $X_T = 41,7$  мОм.

Кабельная линия КЛ1:

кабель ВВГнг 4x70;  $l = 50$  м;  $R_{KЛ1} = 0,549$  мОм;  $X_{KЛ1} = 0,059$  мОм.

Кабельная линия КЛ2:

кабель ВВГнг 4х16;  $l = 51$  м;  $R_{уд} = 1,12$  мОм/м;  $X_{уд} = 0,068$  мОм/м;

$$R_{КЛ2} = 51 \cdot 1,12 = 57,12 \text{ мОм}; X_{КЛ2} = 51 \cdot 0,068 = 3,47 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ3:

кабель ВВГнг 3х4;  $l = 17$  м;  $R_{уд} = 4,63$  мОм/м;  $X_{уд} = 0,107$  мОм/м;

$$R_{КЛ3} = 17 \cdot 4,63 = 78,71 \text{ мОм}; X_{КЛ3} = 17 \cdot 0,107 = 1,82 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ1:

$$R_{ТТ1} = 0,75 \text{ мОм}; X_{ТТ1} = 1,2 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ2:

$$R_{ТТ2} = 0,75 \text{ мОм}; X_{ТТ2} = 1,2 \text{ мОм}$$

Автоматический выключатель АВ1:

$$ВА51-35М3-34; R_{АВ1} = 1,17 \text{ мОм}; X_{АВ1} = 0,066 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ2:

$$ВА51-35М1-34; R_{АВ2} = 12,1 \text{ мОм}; X_{АВ2} = 0,2 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ3:

$$ВА51-35М1-34; R_{АВ2} = 12,1 \text{ мОм}; X_{АВ2} = 0,2 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ4:

$$ВА51-35М1-34; R_{АВ2} = 12,1 \text{ мОм}; X_{АВ2} = 0,2 \text{ мОм}.$$

## 6.2 Расчёт токов КЗ

Для того чтобы произвести расчет токов короткого замыкания следует составить электрическую схему, которая показана на рисунке 3. А затем составить схему замещения, рисунок 4.

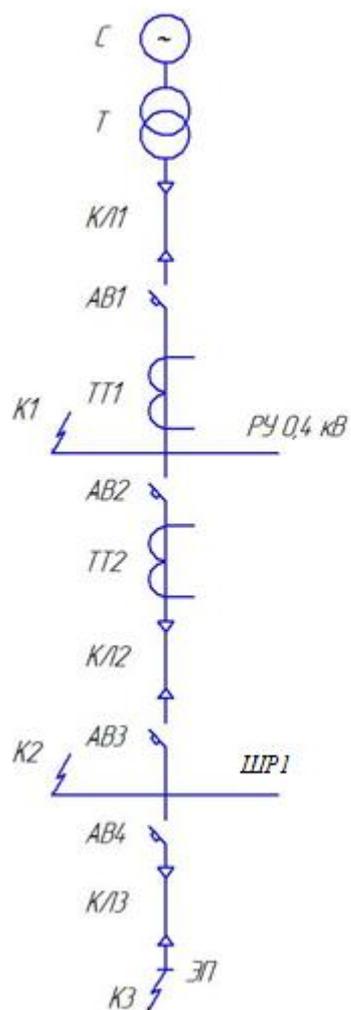


Рисунок 3 – Расчётная электрическая схема

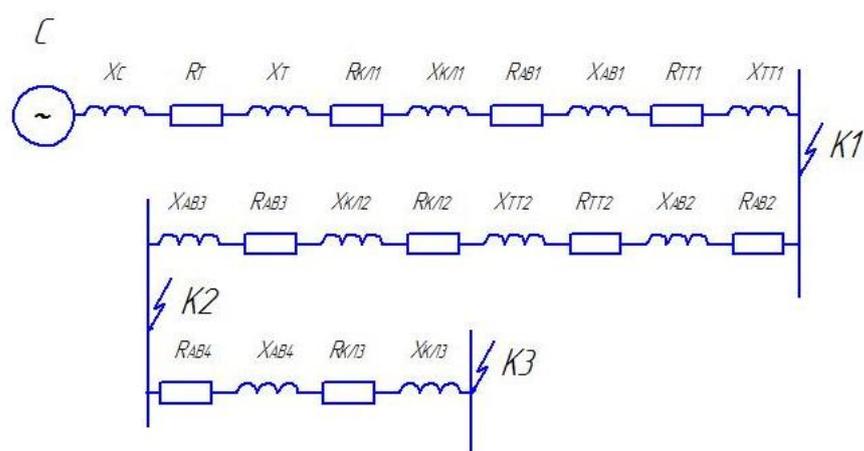


Рисунок 4 – Схема замещения

### 6.3 Расчет КЗ для точки К1

Произведем расчет суммарных сопротивлений для точки К1 по формулам 6.1 и 6.2:

$$R_{\Sigma K1} = R_T + R_{K11} + R_{AB1} + R_{TT1}; \quad (6.1)$$

$$R_{\Sigma K1} = \frac{(16,6 + 0,75 + 1,17 +)}{1000} = 0,019 \text{ Ом};$$

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_T + X_{AB} + X_{TT1}; \quad (6.2)$$

$$X_{\Sigma K1} = \frac{1,6 + 41,7 + 1,2 + 0,066 + 1,6}{1000} = 0,044 \text{ Ом};$$

Расчет полного суммарного сопротивления для точки К1 определяем по формуле 6.3:

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}; \quad (6.3)$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{0,019^2 + 0,044^2} = 0,047 \text{ Ом}.$$

По формуле 6.4 рассчитаем ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}}; \quad (6.4)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,047} = 4,92 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

Ударный коэффициент определяется отношением индуктивного сопротивления к активному:

$$\frac{X_{\Sigma K1}}{R_{\Sigma K1}} = 2,26 \Rightarrow K_{yK1} = 1,2; \quad (6.5)$$

Ударный ток находим по формуле 6.6:

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_{yK1} \cdot I_{K1}^{(3)}; \quad (6.6)$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 4,92 = 8,32 \text{ кА.}$$

#### 6.4 Расчет КЗ для точки К2

Произведем расчет суммарных сопротивлений для точки К2 по формулам 6.7 и 6.8:

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{TT2} + R_{AB2} + R_{AB3} + R_{KL2}; \quad (6.7)$$

$$R_{\Sigma K2} = \frac{0,2 + 0,75 + 0,549 + 0,2 + 16,6 + 0,75 + 1,17}{1000} = 0,02 \text{ Ом;}$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{TT2} + X_{AB2} + X_{AB3} + X_{KL2}; \quad (6.8)$$

$$X_{\Sigma K2} = \frac{12,1 + 1,2 + 0,059 + 0,2 + 41,7 + 1,2 + 0,066 + 1,6}{1000} = 0,068 \text{ Ом;}$$

Расчет полного суммарного сопротивления для точки К2 определяем по формуле 6.9:

$$Z_{\Sigma R2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2}; \quad (6.9)$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{0,02^2 + 0,068^2} = 0,07 \text{ Ом.}$$

По формуле 6.10 рассчитаем ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}}; \quad (6.10)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,07} = 3,3 \text{ кА.}$$

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K2}}{R_{\Sigma K2}} = 0,53 \Rightarrow K_{yK2} = 1,02;$$

$$i_{yK2} = 1,51 \cdot 1,02 = 1,54 \text{ кА.}$$

### 6.5 Расчет КЗ для точки КЗ

Произведем расчет суммарных сопротивлений для точки КЗ по формулам 6.11 и 6.12:

$$R_{\Sigma K3} = R_{\Sigma K2} + R_{AB4} + R_{KL3}; \quad (6.11)$$

$$R_{\Sigma K3} = \frac{20,019 + 0,21 + 0,2 + 0,549}{1000} = 0,021 \text{ Ом;}$$

$$X_{\Sigma K3} = X_{\Sigma K2} + X_{AB4} + X_{KL3}; \quad (6.12)$$

$$X_{\Sigma K3} = \frac{58,125 + 0,21 + 12,1 + 0,059}{1000} = 0,082 \text{ Ом};$$

Расчет полного суммарного сопротивления для точки К3 находим по формуле 6.13:

$$Z_{\Sigma R3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2}; \quad (6.13)$$

$$Z_{\Sigma R3} = \sqrt{0,021^2 + 0,082^2} = 0,0846 \text{ Ом.}$$

По формуле 6.14 рассчитаем ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{H HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}}; \quad (6.14)$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0846} = 2,7 \text{ кА.}$$

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 0,3 \Rightarrow K_{y K3} = 1; \quad (6.15)$$

$$i_{y K3} = 0,89 \text{ кА.}$$

## 6.6 Проверка оборудования

После проведенных расчетов был найден ударный ток короткого замыкания (КЗ), в точках К1, К2 и К3. Во всех точках следует рассмотреть доброкачественность автоматических выключателей.

Для выключателя ВА51-35М3-34, в точке К1 ударный ток рассчитан до 20 кА. К1:  $i_{yK1} = 8,32 \text{ кА} \leq i_{yAB} = 20 \text{ кА}$ .

Следовательно, он выбран правильно.

Для выключателя ВА51-35М3-34, в точке К2 ударный ток рассчитан до 20 кА, К2:  $i_{yK2} = 1,54 \text{ кА} \leq i_{yAB} = 20 \text{ кА}$ .

Следовательно, он выбран правильно.

Для выключателя ВА51-35М3-34, в точке К1 ударный ток рассчитан до 6 кА, К3:  $i_{yK3} = 0,89 \leq i_{yAB} = 6 \text{ кА}$ .

Следовательно, он выбран правильно.

## 7 Расчет молниезащиты

Молния является одним из самых мощных природных и разрушительных явлений. Удары молнии представляют собой реальную и значительную опасность – для жизни, для зданий, в которых мы живем и работаем, и электронных систем, которые поддерживают нас в нашей повседневной жизни. Последствия удара молнии могут быть разрушительными. Прямые удары молнии повреждают сооружения, создают пожары, взрывы и поражают электрическим током. Не прямые удары молнии (до километра) создают переходные перенапряжения, которые ухудшают электронные системы и нарушают работу жизненно важных служб. Защита от последствий молнии сейчас первостепенное значение. Защита от молний во всем мире регулируется национальными и международными стандартами, которые подчеркивают необходимость комплексного решения. Решение, которое обеспечивает эффективную безопасность жизни вместе с длительным сроком службы, надежной защитой здания и электронных систем внутри.

Молния содержит огромное количество электрической энергии. Разряды молнии были измерены от нескольких тысяч до более чем 200 000 Ампер (достаточно света полмиллиона 100 Ватт лампы) и даже несмотря на очень короткую продолжительность, может нанести огромный ущерб и разрушения. Последствия прямого удара очевидны и сразу видны - здания повреждены, деревья разнесло, травмы и даже потери жизни.

Чтобы избежать выше перечисленных последствий, производится расчет молниезащиты. Для того чтобы произвести расчет защиты от прямых ударов молнии, следует определить: зону защиты, тип защиты и ее параметры.

К установке принимаем двухстержневую молниезащиту.

Высота защищаемого здания  $h_x = 9 м$ , высота молниеотвода  $h = 26 м$  расстояние между молниеотводами  $L = 30 м$ . Надежность защиты равна 0.9. Расчет производился согласно СО 153-34.21.122-2003 «Инструкции по

устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций». [20]

Параметры молниезащиты:

$L_{\max} = 5,75 \cdot h = 5,75 \cdot 26 = 149,5 \text{ м}$  – предельное расстояние между стержневыми молниеотводами;

$$L_c = 2,25 \cdot h = 2,5 \cdot 26 = 65 \text{ м};$$

$$h_c = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_c} \cdot h_0 = \frac{149,5 - 30}{149,5 - 65} \cdot 22,1 = 10,8 \text{ м};$$

Находим высоту и радиус конуса:

$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 26 = 22,1 \text{ м}$  – высота вершины конуса стержневого молниеотвода;

$$r_0 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 26 = 26,48 \text{ м} – \text{радиус конуса};$$

Определяем максимальную полуширину зоны  $r_x$  в горизонтальном сечении на высоте  $h_x$ :

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{26,48 \cdot (22,1 - 9)}{22,1} = 15,69 \text{ м};$$

$$r_{cx} = \frac{r_0 \cdot (h_c - h_x)}{h_c} = \frac{26,48 \cdot (10,8 - 9)}{10,8} = 4,41 \text{ м};$$

На сооружении устанавливаем двойной стержневой молниеотвод, зона защиты которого представлена на рисунке 5.

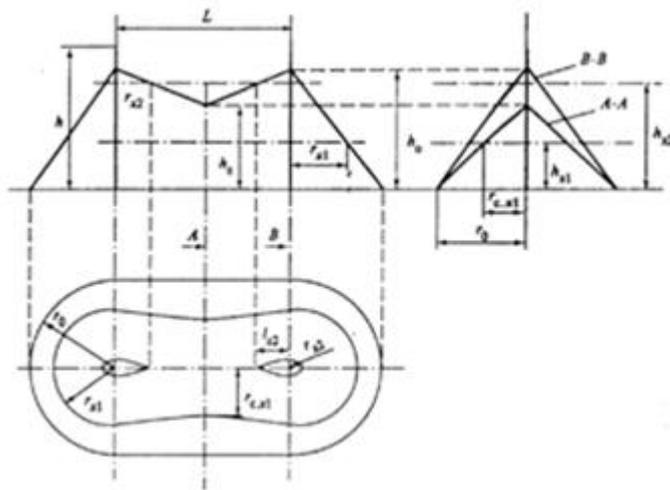


Рисунок 5 – Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

## 8 Расчет заземления

Земля – это самая вездесущая токопроводящая поверхность, и поэтому она была принята в самом начале системы энергоснабжения в качестве почти универсального стандарта для всех электрических систем.

Главная причина для выполнения заземления в электрической сети для безопасности. Когда все металлические части электрооборудования заземлены, то при изоляции внутри оборудования не существует никаких опасных напряжений на корпусе оборудования.

Если фазный провод коснется заземленного корпуса, то цепь эффективно замкнется и предохранитель сразу же перегорит. Когда предохранитель перегорел, то опасное напряжение пропадет.

Цель заземления:

### 1. Безопасность для жизни / дома /оборудования

- Чтобы спасти жизнь человека от опасности поражения электрическим током или смерти, нужно предоставить альтернативный путь для тока замыкания на поток таким образом, чтобы не поставить под угрозу пользователей

- Для защиты зданий, машин и приборов в условиях неисправности.

- Чтобы убедиться, что все открытые проводящие части не достигают опасного потенциала.

- Обеспечить безопасный путь для отвода молнии и токов короткого замыкания.

- Чтобы обеспечить стабильную платформу для работы чувствительного электронного оборудования, т. е. для поддержания напряжения в любой точке электрической системы при известном значении с тем, чтобы предотвратить перегрузки по току или чрезмерное напряжение техникой или оборудованием.

### 2. Защита от перенапряжения

Молния, брызги или непреднамеренный контакт с линией с более высоким напряжением может привести к опасно высокому напряжению в

распределительной электрической сети. Заземлитель обеспечивает альтернативный путь вокруг электрической системы, чтобы свести к минимуму поломки в системе.

Расчет заземления выполнен, согласно ПУЭ, с помощью метода коэффициентов использования производим расчет заземления. В качестве заземления используем вертикальные и горизонтальные заземлители. Горизонтальные заземлители исполняются в виде стальных полос 40x5 мм. Вертикальные заземлители выполнены омедненным резьбовым штырем  $d = 30\text{мм}$ , длиной  $l_{mp} = 2\text{м} = 200\text{см}$ . Используемый грунт – супесок с удельным сопротивлением:  $\rho_{sp} = 300\text{Ом} \cdot \text{м} = 30000\text{Ом} \cdot \text{см}$ . Находим сопротивление растекания тока через одиночный заземлитель с диаметром равным:  $d = 30\text{мм}$ :

$$R_{mp} = \frac{0,9 \cdot \rho}{l_{mp}}$$

$$R_{mp} = \frac{0,9 \cdot 30000}{200} = 135 \text{ Ом}$$

По формуле найдем примерное количество заземлителей без учета коэффициента экранирование:

$$n = \frac{R_{mp}}{r}$$

$$n = \frac{135}{4} = 31,75 \approx 32 ,$$

где  $r$  – допустимое сопротивление заземляющего устройства,  $r = 4\text{Ом}$ .

Чтобы уменьшить эффект экранирования расстояние между соседними заземлителями примем равными – 4м. В данном случае длина заземляющего

штыря  $l_{mp} = 2м = 200см$ . Тогда отношение расстояния между заземлителями к длине заземляющего штыря равно 2.

Найдем число вертикальных заземлителей с учётом коэффициента экранирования:

$$n_1 = \frac{n}{n_{mp}}$$

где  $n_{mp}$  – коэффициент экранирования заземлителей, равный 0,6.

$$n_1 = \frac{40}{0,6} = 51,6 \approx 52$$

Найдем длину соединительной полосы, м:

$$l_n = n_1 \cdot a$$

где  $a$  – расстояние между заземлителями, м

$$l_n = 52 \cdot 4 = 208м$$

По результатам расчетов расчётная длина соединительной полосы получилась меньше периметра цеха (длина цеха 200м, ширина 110,  $P=620м$ ), поэтому длину соединительной полосы необходимо принять равной периметру цеха плюс 12...16 м. Тогда длина заземляющей полосы составляет:

$$l_n = P + 15 = 620 + 15 = 635м$$

Рассчитаем сопротивление растеканию электрического тока через соединительную полосу, Ом:

$$R_n = 2,1 \cdot \frac{\rho}{l_n}$$

$$R_n = 2,1 \cdot \frac{300}{635} = 1 \text{ Ом}$$

Результирующее сопротивление растеканию тока всего заземляющего устройства, Ом, определяем по формуле:

$$R_3 = \frac{R_{mp} \cdot R_n}{n_n \cdot R_{mp} + n_{mp} \cdot R_n \cdot n_1}$$

$$R_3 = \frac{135 \cdot 1}{0,28 \cdot 135 + 0,6 \cdot 1 \cdot 52} = 1,95 \text{ Ом}$$

Согласно ПУЭ, допустимое сопротивление заземляющего устройства на электрических установках напряжением до 1000 В должно быть не более 4 Ом. По результатам данных расчетов сопротивление заземляющего устройства получилось равным 1,95 Ом. Следовательно, соответствует норме и заземлители установлены правильно.

## Заключение

В результате выполнения ВКР была спроектирована система электроснабжения для производственного здания.

Были определены электрические нагрузки без учета освещения  $S_p = 129,2$  и с учетом освещения  $S_p = 236,3$  кВА, расчетный ток  $I_p = 359$  А.

При расчете освещения были выбраны светодиодные светильники LE-ССП-22-200 КЕДР 200Вт.

Были произведены необходимые расчеты для определения числа и мощности трансформаторов. Выбор производился из 2 вариантов:

Вариант А: Двухтрансформаторная комплектная трансформаторная подстанция с трансформаторами ТСЛ-160/10/0,4;

Вариант Б: Двухтрансформаторная комплектная трансформаторная подстанция с трансформаторами ТСЛ-250/10/0,4 .

По результатам расчетов выбор был сделан в сторону варианта А – установке двухтрансформаторной комплектной трансформаторной подстанции с трансформаторами ТСЛ-160/10/0,4 .

Питание электроприемников осуществляется медными кабелями марки ВВГнг.

В качестве защиты электроприемников выбраны автоматы ВА51-35.

Проверили оборудование с помощью расчетов токов короткого замыкания, все автоматы были выбраны правильно.

Молниезащита выполнена двухстержневым молниеотводом.

Установлены горизонтальные заземлители, которые исполняются в виде стальных полос 40x5 мм, и вертикальные заземлители выполнены омедненным резьбовым штырем  $d = 30$ мм, длиной  $l_{мп} = 2м = 200см$  .

## Список используемых источников

1. Сергиевская, И.Ю. Электрооборудование источников энергии, электрических сетей и промышленных предприятий: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям, контрольной и самостоятельной работе / Л.Ю. Крепышева, И.Ю. Сергиевская.-Вологда:ВоГУ,2015.-74с.
2. Top 10 Benefits of Using LED Lighting [Электронный ресурс] – 2012 – Режим доступа: <https://www.ledluxor.com/top-10-benefits-of-led-lighting>. (дата обращения 20.03.2017).
3. Вахнина, В.В. Проектирование системы электроснабжения цеха предприятия: методические указания по курсовому проектированию / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти:ТГУ,2015.
4. Каталог светодиодных светильников Фокус [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Фокус – М., 2016. – 32 с.
5. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*. Свод правил [Текст]. – Введ. 2011 – 20 – 05. – М. : Минрегион России, 2012 – 68 с.
6. Recommended Lighting Levels in Buildings [Электронный ресурс] – 2016 –Режим доступа: <https://www.archtoolbox.com/materials-systems/electrical/recommended-lighting-levels-in-buildings.html>. (дата обращения 21.03.2017).
7. Power substation guides, [Электронный ресурс] – 2017 – Режим доступа: <http://electrical-engineering-portal.com/download-center/books-and-guides/power-substations> (дата обращения 23.03.2017).
8. Трансформаторы силовые с масляной и сухой изоляцией [Текст]: каталог: разработчик и изготовитель Электрощит Самара – М., 2016. – 112 с.
9. Самарская кабельная компания. Каталог продукции [Текст]: каталог: разработчик и изготовитель Самарская кабельная компания – М., 2016. – 76 с.
10. Автоматические выключатели [Текст]: каталог: разработчик и изготовитель КЭАЗ – М., 2014. – 69 с.

11. Acti 9 [Текст]: каталог: разработчик и изготовитель Schneider Electric – М., 2016. – 426 с.
12. What is distribution substation and its main components? [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа: <http://electrical-engineering-portal.com/distribution-substation> (дата обращения 5.04.2017).
13. Нугманов, С.С. Расчет трансформаторной подстанции: методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Электрические станции и подстанции» / С.С. Нугманов.-Кинель: РИЦ СГСХА, 2013. - 49с.
14. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016 - 416с.
15. Рождествина, А.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий (для бакалавров) / А.А. Рождествина – М.: КноРус, 2013. – 368 с.
16. Киреева, Э. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. – М.: КноРус, 2013. – 368 с.
17. Earthing in electrical network – purpose, methods and measurement [Электронный ресурс] <http://electrical-engineering-portal.com/earthing-in-electrical-network-purpose-methods-and-measurement> (дата обращения 21.04.2017).
18. Заземление на ZANDZ.RU. Удельное сопротивление грунта [Электронный ресурс]: [http://www.zandz.ru/udelnoe\\_soprotivlenie\\_grunta.html](http://www.zandz.ru/udelnoe_soprotivlenie_grunta.html) (дата обращения 21.04.2017)
19. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие/ Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин – М.:МЭЙ, 2013. – 412 с.
20. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [Электронный ресурс] URL:[https://znaytovar.ru/gost/2/SO\\_15334211222003\\_Instrukciya.html](https://znaytovar.ru/gost/2/SO_15334211222003_Instrukciya.html). (дата обращения 23.04.2017).