

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

Институт энергетики и электротехники  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование кафедры)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений  
(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство складского комплекса в Подольском районе Московской области»

|              |   |       |
|--------------|---|-------|
| Студент      | <u>С.А. Абашин</u><br>(И.О. Фамилия)    | _____ |
| Руководитель | <u>А.Н. Черненко</u><br>(И.О. Фамилия)  | _____ |
| Консультант  | <u>А.В. Кириллова</u><br>(И.О. Фамилия) | _____ |

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) \_\_\_\_\_  
(личная подпись)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Тольятти 2018

## АННОТАЦИЯ

В данной выпускной квалификационной работе была спроектирована надёжная и экономичная система электроснабжения складского комплекса в Подольском районе Московской области, которая соответствует требуемой безопасности.

ВКР содержит десять разделов:

- краткая характеристика объекта проектирования;
- расчёт электрических нагрузок;
- расчёт электрического освещения;
- выбор силовых трансформаторов;
- выбор схемы электроснабжения;
- расчёт номинальных токов и выбор сечений кабелей;
- расчёт токов короткого замыкания;
- выбор электрооборудования;
- расчёт заземления складского комплекса;
- молниезащита складского комплекса.

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе содержит 58 листов, 2 рисунка и 11 таблиц. Графическая часть представлена на 6 листах формата А1.

## ABSTRACT

The title of the graduation work is «The electrical equipment and electrical facilities of the warehouse complex in Podolsky district, Moscow region».

This graduation work is devoted to the design of the distribution network of a warehouse complex, as well as the calculation of electrical loads, the selection of electrical equipment.

The aim of the graduation work is to design a reliable and economical system of power supply for the warehouse complex.

The object of the graduation work is the warehouse complex.

The subject of the graduation work is power supply system of the warehouse complex.

The author dwells on electricity distribution within the facility of the enterprise.

The graduation work consists of an explanatory note on 58 pages, including 2 figures, 11 tables and the graphic part on 6 A1 sheets.

All ten parts look toward improving the effectiveness of facility power supply of the warehouse complex.

The graduation work describes in details the procedure for calculating electrical loads and the choice of electrical equipment for the facility.

The result of the qualification work is the designed distribution network for the warehouse complex. This distribution network complies with the current requirements of regulatory documentation, as well as the requirements of sanitary norms and regulations.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение   | 5  |
| 1 Краткая характеристика объекта проектирования    | 6  |
| 2 Расчёт электрических нагрузок                    | 7  |
| 3 Расчёт электрического освещения                  | 21 |
| 4 Выбор силовых трансформаторов                    | 24 |
| 5 Выбор схемы электроснабжения                     | 31 |
| 6 Расчёт номинальных токов и выбор сечений кабелей | 32 |
| 7 Расчёт токов короткого замыкания                 | 40 |
| 8 Выбор электрооборудования                        | 47 |
| 9 Расчёт заземления складского комплекса           | 52 |
| 10 Молниезащита складского комплекса               | 55 |
| Заключение   | 56 |
| Список используемых источников                     | 57 |

## ВВЕДЕНИЕ

Система электроснабжения – это совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией.

Рационально спроектированная система электроснабжения должна удовлетворять ряду требований – высокой надёжности и экономичности, безопасности и удобству эксплуатации; обеспечивать требуемое качество электроэнергии, соответствующие уровни напряжения и т. д. Многообразие факторов, которые необходимо учитывать при проектировании электроснабжения предприятий разных отраслей промышленности, повышает требования к специалистам [1, с. 5].

Электрические сети до 1 кВ формируют системы внутреннего электроснабжения цехов промышленных предприятий и гражданских зданий [2, с. 85].

Основной целью выпускной квалификационной работы является проектирование надёжной и экономичной системы электроснабжения, которая будет соответствовать требуемой безопасности.

Главными задачами ВКР являются:

- расчёт электрических нагрузок и электрического освещения;
- выбор схемы электроснабжения предприятия;
- выбор электрооборудования в соответствии с требованиями надёжности, экономичности и безопасности;
- проектирование заземления и молниезащиты.

## **1 Краткая характеристика объекта проектирования**

Объектом проектирования данной выпускной квалификационной работы является складской комплекс Подольского района Московской области. Основная деятельность предприятия заключается в хранении материальных ценностей и предоставлении складских услуг.

Общая территория данного объекта составляет 13500 квадратных метров и включает в себя следующие функциональные зоны: отопляемый склад, погрузочно-разгрузочные зоны и офисные помещения. Одним из преимуществ комплекса является удобное территориальное расположение и высокая транспортная доступность.

Силовыми электроприёмниками складского комплекса являются: насосные установки пожаротушения, приточно-вытяжная вентиляция, технологическое оборудование, тепловентиляторы и потребители ИТП.

По надёжности электроснабжения электроприёмники относятся к третьей категории, за исключением насосной установки пожаротушения, люков дымоудаления, пожарной сигнализации, светильников аварийного освещения и приточных систем, которые относятся к первой группе по надёжности электроснабжения. Питание комплекса осуществляется от РУ-0,4 кВ, трансформаторной подстанцией, кабельной линией 0,4 кВ.

При возникновении аварийной ситуации предусмотрено автоматическое отключение щитов электроснабжения и освещения, кроме щитов аварийного освещения, установок пожаротушения, дымоудаления и прибора пожарной сигнализации.

## 2 Расчёт электрических нагрузок

Данный расчёт необходим для выбора мощности трансформатора, сечений проводников и коммутационной аппаратуры, которые необходимо установить. Расчёт ведётся по узлам сети присоединений электроприёмников.

Произведём расчёт нагрузки на примере ЩР1.

Номинальная мощность для одиночного электроприёмника определяется по формуле:

$$P_{ном} = P_{насп}, \quad (2.1)$$

где  $P_{насп}$  - номинальная мощность установленного электроприёмника, кВт.

Рассчитаем мощность одиночного электроприёмника на примере розеточной сети помещений 3 и 35.

$$P_{ном} = 2 \text{ кВт.}$$

Определим номинальную мощность для группы электроприёмников на ЩР4 по формуле:

$$P_{ном} = n \cdot P_{насп}, \quad (2.2)$$

где  $n$  – количество электроприёмников, шт;  $P_{насп}$  - номинальная мощность установленного электроприёмника, кВт.

Проведём расчёт мощности для группы электроприёмников на примере уравнительной платформы.

$$P_{ном} = 2 \cdot 1,1 = 2,2 \text{ кВт.}$$

Так как в складском комплексе присутствуют однофазные электроприёмники, то необходимо их пересчитать в трёхфазную нагрузку, в зависимости от неравномерности распределения приёмников по фазам.

Рассчитаем величину неравномерности по формуле:

$$H = \frac{P_{ф.наиб} - P_{ф.наим}}{P_{ф.наим}} \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

$$H = \frac{2,5 - 1,89}{1,89} \cdot 100\% = 32,3 \%$$

где  $P_{ф.наиб}$  - номинальная мощность наиболее загруженной фазы, кВт;

$P_{ф.наим}$  - номинальная мощность наименее загруженной фазы, кВт.

Так как величина неравномерности больше 15%, то номинальная мощность для группы электроприёмников будет рассчитываться по формуле:

$$P_{ном} = 3 \cdot P_{ф.наиб}, \quad (2.4)$$

где  $P_{ф.наиб}$  - номинальная мощность наиболее загруженной фазы, кВт.

$$P_{ном} = 3 \cdot 2,5 = 7,5 \text{ кВт.}$$

Для расчётного узла ЩР1 определяется коэффициент  $m$  по формуле:

$$m = \frac{P_{ном.наиб}}{P_{ном.наим}}, \quad (2.5)$$

где  $P_{ном.наиб}$  - номинальная мощность наибольшего ЭП в группе, кВт;

$P_{ном.наим}$  - номинальная мощность наименьшего ЭП в группе, кВт.

$$m = \frac{2}{0,24} = 8,33. \quad (2.6)$$

Для ЩР1 коэффициент  $m > 3$  и влияет на способ определения  $n_{э}$  - эффективного числа электроприёмников.

Рассчитаем для электроприёмников активную и реактивную мощность за наиболее загруженную смену.

$$P_{см} = k_u \cdot P_{ном}, \quad (2.7)$$

где  $k_u$  - коэффициент использования;  $P_{ном}$  - номинальная мощность для группы ЭП, кВт.

$$P_{см} = 0,7 \cdot 7,5 = 5,25 \text{ кВт.}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.8)$$

где  $P_{см}$  - активная мощность за наиболее загруженную смену, кВт.



$$Q_{см} = 5,25 \cdot 0,36 = 1,9 \text{ квар.}$$

Рассчитаем величину:

$$n \cdot P_{НОМ}^2, \quad (2.9)$$

где  $n$  – количество электроприёмников, шт;  $P_{НОМ}$  – номинальная мощность одного электроприёмника.

$$n \cdot P_{НОМ}^2 = 1 \cdot 2^2 = 4 \text{ кВт}^2.$$

Произведём расчёт  $n$ ,  $k_u$ ,  $\cos \varphi$ ,  $\text{tg} \varphi$ ,  $n \cdot P_{НОМ}^2$  для расчётного узла ЩР1.

$$n = \sum n, \quad (2.10)$$

где  $n$  – количество электроприёмников, шт.

$$n = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 7 \text{ шт.}$$

$$k_u = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{НОМ}}, \quad (2.11)$$

где  $\sum P_{см}$  – суммарная активная мощность за наиболее загруженную смену, кВт;  $\sum P_{НОМ}$  – суммарная номинальная мощность для группы ЭП, кВт.

$$k_u = \frac{5,25}{7,5} = 0,7.$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{\sum Q_{см}}{\sum P_{см}}, \quad (2.12)$$

где  $\sum Q_{см}$  – суммарная реактивная мощность за наиболее загруженную смену, квар; где  $\sum P_{см}$  – суммарная активная мощность за наиболее загруженную смену, кВт;

$$\text{tg} \varphi = \frac{1,9}{5,25} = 0,36.$$

$$\cos \varphi = \cos(\text{arctg}(\text{tg})), \quad (2.13)$$

$$\cos \varphi = \cos(\text{arctg}(0,36)) = 0,94.$$

$$\sum n \cdot P_{\text{НОМ}}^2, \quad (2.14)$$

где  $n$  – количество электроприёмников, шт;  $P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность одного электроприёмника.

$$\sum n \cdot P_{\text{НОМ}}^2 = 4 + 1 + 1,96 + 0,4225 + 0,25 + 0,25 + 0,0576 = 7,9.$$

Рассчитаем эффективное число электроприёмников. Так как для ЩР1  $m > 3$  и  $k_u > 0,2$ , то эффективное число ЭП рассчитывается по формуле:

$$n_{\text{Э}} = 2 \cdot \frac{\sum P_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НОМ.наиб}}}, \quad (2.15)$$

где  $\sum P_{\text{НОМ}}$  – суммарная номинальная мощность для группы ЭП, кВт; где  $P_{\text{НОМ.наиб}}$  – номинальная мощность наибольшего ЭП в группе, кВт.

$$n_{\text{Э}} = 2 \cdot \frac{7,5}{2} = 7,5.$$

По результатам расчётов,  $n_{\text{Э}}$  больше фактического числа электроприёмников, поэтому мы принимаем  $n_{\text{Э}} = n = 7$ .

Так как  $n_{\text{Э}} = 7$  и  $k_u = 0,7$ , то коэффициент расчётной мощности  $K_p$  принимается равным 1,04.

Вычислим для расчётного узла активную, реактивную и полную мощности по формулам:

$$P_p = K_p \cdot \sum P_{\text{СМ}}, \quad (2.16)$$

где  $K_p$  – коэффициент расчётной мощности; где  $\sum P_{\text{СМ}}$  – суммарная активная мощность за наиболее загруженную смену, кВт.

$$P_p = 1,4 \cdot 5,25 = 5,46 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{\text{СМ}}, \quad (2.17)$$

где  $\sum Q_{\text{СМ}}$  – суммарная активная мощность за наиболее загруженную смену, квар.

$$Q_p = 1,1 \cdot 1,9 = 2,1 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.18)$$

где  $P_p$  - расчётная активная мощность, кВт;  $Q_p$  - расчётная реактивная мощность, квар.

$$S_p = \sqrt{5,46^2 + 2,1^2} = 5,85.$$

«Вычислим для ЩР1 величину расчётного тока по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.19)$$

где  $S_p$  - расчётная полная мощность, кВА;  $U_{ном}$  - номинальное напряжение, кВ.

$$I_p = \frac{5,85}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 8,9 \text{ А} \text{ [3, с. 11].}$$

Аналогично произведём расчёты для остальных расчётных узлов и результаты сведём в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Расчёт электрических нагрузок

| Исходные данные                  |                        |                           |                       | по справочным данным |                |              | Расчётные величины     |   |                                 | $n_{\Sigma}$ | $K_p$ | Расчётная мощность   |                         |                    | Расчётный ток $I_p$ , А |
|----------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|----------------|--------------|------------------------|---|---------------------------------|--------------|-------|----------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| по заданию технологов            |                        |                           |                       | $k_u$                | $\cos \varphi$ | $tg \varphi$ | $K_{II} \cdot P_{ном}$ | $K_{II} \cdot P_{ном} \cdot tg \varphi$ | $n \cdot P_{ном} \cdot P_{ном}$ |              |       | активная $P_p$ , кВт | реактивная $Q_p$ , квар | полная $S_p$ , кВА |                         |
| Наименование ЭП                  | Количество ЭП $n$ , шт | Номинальная мощность, кВт |                       |                      |                |              |                        |   |                                 |              |       |                      |                         |                    |                         |
|                                  |                        | одного ЭП $P_{ном}$ , кВт | общая $P_{ном}$ , кВт |                      |                |              |                        |   |                                 |              |       |                      |                         |                    |                         |
| 1                                | 2                      | 3                         | 4                     | 5                    | 6              | 7            | 8                      | 9                                       | 10                              | 11           | 12    | 13                   | 14                      | 15                 | 16                      |
| Розетки помещений 3 и 35         | 1                      | 2                         | 7,5                   | 0,7                  | 0,94           | 0,36         | 5,25                   | 1,9                                     | 4                               | -            | -     | -                    | -                       | -                  | -                       |
| Розетки помещений 6 и 7          | 1                      | 1                         |                       |                      |                |              |                        |   | 1                               |              |       |                      |                         |                    |                         |
| Розетки помещений 4 и 5          | 1                      | 1,4                       |                       |                      |                |              |                        |   | 1,96                            |              |       |                      |                         |                    |                         |
| Освещение помещений 2, 3, 7 и 35 | 1                      | 0,65                      |                       |                      |                |              |                        |   | 0,4225                          |              |       |                      |                         |                    |                         |
| Освещение помещений 1, 4, 5 и 6  | 1                      | 0,5                       |                       |                      |                |              |                        |   | 0,25                            |              |       |                      |                         |                    |                         |
| ЯТПР – 220/12                    | 1                      | 0,5                       |                       |                      |                |              |                        |   | 0,25                            |              |       |                      |                         |                    |                         |
| Вытяжные вентиляторы             | 1                      | 0,24                      |                       |                      |                |              |                        |   | 0,0576                          |              |       |                      |                         |                    |                         |
| Всего на ЦР1                     | 7                      | 2/0,24                    | 7,5                   | 0,7                  | 0,94           | 0,36         | 5,25                   | 1,9                                     | 7,9401                          | 7            | 1,04  | 5,46                 | 2,1                     | 5,85               | 8,9                     |

Продолжение таблицы 2.1

| 1  | 2  | 3         | 4    | 5   | 6    | 7    | 8    | 9 | 10     | 11 | 12 | 13   | 14 | 15   | 16 |
|--|----|-----------|------|-----|------|------|------|---|--------|----|----|------|----|------|----|
| Розетки помещений 13 и 14                              | 1  | 3         | 22,7 | 0,6 | 0,94 | 0,36 | 13,6 | 5 | 9      | -  | -  | -    | -  | -    | -  |
| Розетки помещений 3, 11 и 12                           | 1  | 2,8       |      |     |      |      |      |   | 7,84   |    |    |      |    |      |    |
| Розетки помещений 5, 6, 8 и 9                          | 1  | 2,2       |      |     |      |      |      |   | 4,84   |    |    |      |    |      |    |
| Розетка помещения 27                                   | 1  | 1         |      |     |      |      |      |   | 1      |    |    |      |    |      |    |
| Освещение помещений 1, 2 и 27                          | 1  | 0,6       |      |     |      |      |      |   | 0,36   |    |    |      |    |      |    |
| Освещение помещений 4, 5, 5а, 6, 8, 9, 9а, 10, 11 и 12 | 1  | 1         |      |     |      |      |      |   | 1      |    |    |      |    |      |    |
| Освещение помещений 3, 13 и 14                         | 1  | 0,7       |      |     |      |      |      |   | 0,49   |    |    |      |    |      |    |
| Освещение помещения 7                                  | 1  | 0,45      |      |     |      |      |      |   | 0,2025 |    |    |      |    |      |    |
| Наружный блок  | 1  | 3,1       |      |     |      |      |      |   | 9,61   |    |    |      |    |      |    |
| Наружный блок  | 1  | 1,7       |      |     |      |      |      |   | 2,89   |    |    |      |    |      |    |
| Дренажные помпы  | 1  | 0,054     |      |     |      |      |      |   | 0,003  |    |    |      |    |      |    |
| Вытяжные вентиляторы                                   | 1  | 0,6       |      |     |      |      |      |   | 0,36   |    |    |      |    |      |    |
| Всего на ЦР2   | 12 | 3,1/0,054 | 22,7 | 0,6 | 0,94 | 0,36 | 13,6 | 5 | 37,6   | 14 | 1  | 13,6 | 5  | 14,5 | 22 |

Продолжение таблицы 2.1

| 1                                      | 2  | 3         | 4    | 5   | 6    | 7    | 8    | 9   | 10    | 11 | 12 | 13   | 14  | 15   | 16   |
|--|----|-----------|------|-----|------|------|------|-----|-------|----|----|------|-----|------|------|
| Розетки помещений 12 и 13              | 1  | 3         | 31,7 | 0,4 | 0,94 | 0,36 | 12,7 | 4,6 | 9     | -  | -  | -    | -   | -    | -    |
| Розетки помещений 9 и 11               | 1  | 3         |      |     |      |      |      |     | 9     |    |    |      |     |      |      |
| Розетки помещений 6, 8 и 10            | 1  | 2,5       |      |     |      |      |      |     | 6,25  |    |    |      |     |      |      |
| Розетки помещений 3, 4 и 5             | 1  | 2,5       |      |     |      |      |      |     | 6,25  |    |    |      |     |      |      |
| Освещение помещений 1, 2 и 7           | 1  | 0,5       |      |     |      |      |      |     | 0,25  |    |    |      |     |      |      |
| Освещение помещений 3, 4, 5, 6, 8 и 10 | 1  | 0,9       |      |     |      |      |      |     | 0,81  |    |    |      |     |      |      |
| Освещение помещений 9, 11, 12 и 13     | 1  | 0,8       |      |     |      |      |      |     | 0,64  |    |    |      |     |      |      |
| Наружный блок                          | 1  | 3,1       |      |     |      |      |      |     | 9,61  |    |    |      |     |      |      |
| Наружный блок                          | 1  | 2,18      |      |     |      |      |      |     | 4,75  |    |    |      |     |      |      |
| Дренажные помпы                        | 1  | 0,072     |      |     |      |      |      |     | 0,005 |    |    |      |     |      |      |
| Вытяжные вентиляторы                   | 1  | 0,52      | 0,27 |     |      |      |      |     |       |    |    |      |     |      |      |
| Всего на ЦРЗ                           | 11 | 3,1/0,072 | 31,7 | 0,4 | 0,94 | 0,36 | 12,7 | 4,6 | 46,8  | 20 | 1  | 12,7 | 4,6 | 13,5 | 20,5 |

Продолжение таблицы 2.1

| 1  | 2  | 3       | 4     | 5    | 6    | 7    | 8     | 9    | 10    | 11 | 12 | 13    | 14   | 15   | 16   |
|--|----|---------|-------|------|------|------|-------|------|-------|----|----|-------|------|------|------|
| Уравнительная платформа                          | 1  | 1,1     | 1,1   | 0,7  | 0,85 | 0,62 | 0,77  | 0,48 | 1,21  |    |    |       |      |      |      |
| Уравнительная платформа                          | 1  | 1,1     | 1,1   | 0,7  | 0,85 | 0,62 | 0,77  | 0,48 | 1,21  |    |    |       |      |      |      |
| Палетоупаковщик                                  | 1  | 1,1     | 1,1   | 0,5  | 0,8  | 0,75 | 0,55  | 0,41 | 1,21  |    |    |       |      |      |      |
| Ворота   | 1  | 0,4     |       |      |      |      |       |      | 0,16  |    |    |       |      |      |      |
| Ворота   | 1  | 0,4     |       |      |      |      |       |      | 0,16  |    |    |       |      |      |      |
| Розетки помещений 15, 15а, 16, 18, 19 и 20       | 1  | 3,5     |       |      |      |      |       |      | 12,25 |    |    |       |      |      |      |
| Розетка помещения 23                             | 1  | 2       |       |      |      |      |       |      | 4     |    |    |       |      |      |      |
| Розетка помещения 37                             | 1  | 1       |       |      |      |      |       |      | 1     | -  | -  | -     | -    | -    | -    |
| Освещение помещений 17, 19, 20 и входов          | 1  | 0,3     | 17,01 | 0,65 | 0,9  | 0,48 | 11,06 | 5,35 | 0,09  |    |    |       |      |      |      |
| Освещение помещений 21, 22 и 23                  | 1  | 0,4     |       |      |      |      |       |      | 0,16  |    |    |       |      |      |      |
| Освещение помещений 14, 15, 15а, 16, 18, 37 и 38 | 1  | 0,8     |       |      |      |      |       |      | 0,64  |    |    |       |      |      |      |
| Освещение  | 1  | 1       |       |      |      |      |       |      | 1     |    |    |       |      |      |      |
| Вытяжные вентиляторы                             | 1  | 0,34    |       |      |      |      |       |      | 0,1   |    |    |       |      |      |      |
| Щит тепловентиляторов                            | 1  | 3,37    |       |      |      |      |       |      | 11,36 |    |    |       |      |      |      |
| Всего на ЦР4                                     | 14 | 3,5/0,3 | 20,31 | 0,65 | 0,89 | 0,5  | 13,15 | 6,72 | 34,56 | 11 | 1  | 13,15 | 6,72 | 14,8 | 22,4 |

Продолжение таблицы 2.1

| 1                             | 2 | 3       | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | 9     | 10     | 11 | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   |
|-------------------------------|---|---------|------|-------|------|------|------|-------|--------|----|------|------|------|------|------|
| Уравнительная платформа       | 2 | 1,1     | 2,2  | 0,7   | 0,85 | 0,62 | 1,54 | 0,95  | 2,42   | -  | -    | -    | -    | -    | -    |
| Подъёмник для инвалидов       | 1 | 0,75    | 2,25 | 0,75  | 0,9  | 0,48 | 1,69 | 0,82  | 0,56   |    |      |      |      |      |      |
| Ворота                        | 2 | 0,4     |      |       |      |      |      |       | 0,32   |    |      |      |      |      |      |
| Всего на ЩСТ1                 | 5 | 1,1/0,4 | 4,45 | 0,725 | 0,88 | 0,55 | 3,2  | 1,77  | 3,3    | 5  | 1,03 | 3,3  | 1,95 | 3,85 | 5,85 |
| Уравнительная платформа       | 3 | 1,1     | 3,3  | 0,7   | 0,85 | 0,62 | 2,31 | 1,43  | 3,63   | -  | -    | -    | -    | -    | -    |
| Ворота                        | 3 | 0,4     | 1,2  | 0,75  | 0,9  | 0,48 | 0,9  | 0,436 | 0,48   |    |      |      |      |      |      |
| Всего на ЩСТ2                 | 6 | 1,1/0,4 | 4,5  | 0,71  | 0,86 | 0,58 | 3,21 | 1,87  | 4,11   | 6  | 1,01 | 3,24 | 2,05 | 3,8  | 5,8  |
| Розетка помещения 36          | 1 | 2       | 6    | 0,6   | 0,94 | 0,36 | 3,6  | 1,3   | 4      | -  | -    | -    | -    | -    | -    |
| Розетка помещения 39          | 1 | 1       |      |       |      |      |      |       | 1      |    |      |      |      |      |      |
| Освещение помещения 39        | 1 | 0,2     |      |       |      |      |      |       | 0,04   |    |      |      |      |      |      |
| Освещение помещений 8, 9 и 36 | 1 | 0,3     |      |       |      |      |      |       | 0,09   |    |      |      |      |      |      |
| ЯТПР – 220/12                 | 1 | 0,25    |      |       |      |      |      |       | 0,0625 |    |      |      |      |      |      |
| Вытяжные вентиляторы          | 1 | 0,1     |      |       |      |      |      |       | 0,01   |    |      |      |      |      |      |
| Всего на ЩР5                  | 6 | 2/0,1   |      |       |      |      |      |       | 6      |    |      |      |      |      |      |
| Розетки помещений 15 и 16     | 1 | 1,8     |      |       |      |      |      |       | 3,24   |    |      |      |      |      |      |
| Розетки помещений 17 и 18     | 1 | 2,1     |      |       |      |      |      |       | 4,41   |    |      |      |      |      |      |



Продолжение таблицы 2.1

| 1                                   | 2  | 3        | 4      | 5   | 6   | 7    | 8      | 9    | 10     | 11 | 12 | 13     | 14   | 15   | 16    |
|-------------------------------------|----|----------|--------|-----|-----|------|--------|------|--------|----|----|--------|------|------|-------|
| Розетки помещений 20, 21 и 22       | 1  | 3        | 18,66  | 0,7 | 0,9 | 0,48 | 13,062 | 6,33 | 9      | -  | -  | -      | -    | -    | -     |
| Розетки помещений 23 и 24           | 1  | 1,4      |        |     |     |      |        |      | 1,96   |    |    |        |      |      |       |
| Освещение помещения 19              | 1  | 0,5      |        |     |     |      |        |      | 0,25   |    |    |        |      |      |       |
| Освещение помещений 23, 24, 25 и 26 | 1  | 0,4      |        |     |     |      |        |      | 0,16   |    |    |        |      |      |       |
| Освещение помещений 20, 21 и 22     | 1  | 0,8      |        |     |     |      |        |      | 0,64   |    |    |        |      |      |       |
| Освещение помещений 17 и 18         | 1  | 0,3      |        |     |     |      |        |      | 0,09   |    |    |        |      |      |       |
| Освещение помещений 15 и 16         | 1  | 0,6      |        |     |     |      |        |      | 0,36   |    |    |        |      |      |       |
| Наружный блок                       | 1  | 3,1      |        |     |     |      |        |      | 9,61   |    |    |        |      |      |       |
| Наружный блок                       | 2  | 1        |        |     |     |      |        |      | 2      |    |    |        |      |      |       |
| Дренажные помпы                     | 1  | 0,16     |        |     |     |      |        |      | 0,0256 |    |    |        |      |      |       |
| Вытяжные вентиляторы                | 1  | 0,06     | 0,0036 |     |     |      |        |      |        |    |    |        |      |      |       |
| Всего на ЦРБ                        | 14 | 3,1/0,06 | 18,66  | 0,7 | 0,9 | 0,48 | 13,062 | 6,33 | 31,75  | 12 | 1  | 13,062 | 6,33 | 14,5 | 22,05 |
| Розетки помещений 14 и 15           | 1  | 3        |        |     |     |      |        |      | 9      |    |    |        |      |      |       |

Продолжение таблицы 2.1

| 1                                   | 2  | 3        | 4     | 5   | 6   | 7    | 8    | 9   | 10     | 11 | 12 | 13   | 14  | 15 | 16    |
|-------------------------------------|----|----------|-------|-----|-----|------|------|-----|--------|----|----|------|-----|----|-------|
| Розетки помещений 16 и 17           | 1  | 2,5      | 38,25 | 0,4 | 0,9 | 0,48 | 15,3 | 7,4 | 6,25   | -  | -  | -    | -   | -  | -     |
| Розетки помещений 19, 20 и 21       | 1  | 3        |       |     |     |      |      |     | 9      |    |    |      |     |    |       |
| Розетки помещений 20 и 23           | 1  | 1,4      |       |     |     |      |      |     | 1,96   |    |    |      |     |    |       |
| Освещение помещения 18              | 1  | 0,5      |       |     |     |      |      |     | 0,25   |    |    |      |     |    |       |
| Освещение помещений 22, 23, 24 и 25 | 1  | 0,4      |       |     |     |      |      |     | 0,16   |    |    |      |     |    |       |
| Освещение помещений 19, 20 и 21     | 1  | 0,8      |       |     |     |      |      |     | 0,64   |    |    |      |     |    |       |
| Освещение помещений 16 и 17         | 1  | 0,3      |       |     |     |      |      |     | 0,09   |    |    |      |     |    |       |
| Освещение помещений 14 и 15         | 1  | 0,6      |       |     |     |      |      |     | 0,36   |    |    |      |     |    |       |
| Наружный блок                       | 2  | 3,1      |       |     |     |      |      |     | 19,22  |    |    |      |     |    |       |
| Наружный блок                       | 1  | 2,18     |       |     |     |      |      |     | 4,75   |    |    |      |     |    |       |
| Дренажные помпы                     | 1  | 0,11     |       |     |     |      |      |     | 0,0121 |    |    |      |     |    |       |
| Вытяжные вентиляторы                | 1  | 0,06     |       |     |     |      |      |     | 0,0036 |    |    |      |     |    |       |
| Всего на ЦР7                        | 14 | 3,1/0,06 | 38,25 | 0,4 | 0,9 | 0,48 | 15,3 | 7,4 | 51,7   | 24 | 1  | 15,3 | 7,4 | 17 | 25,83 |

Продолжение таблицы 2.1

| 1                                      | 2  | 3        | 4    | 5    | 6    | 7    | 8     | 9    | 10     | 11 | 12 | 13    | 14  | 15   | 16   |
|--|----|----------|------|------|------|------|-------|------|--------|----|----|-------|-----|------|------|
| Уравнительная платформа                | 2  | 1,1      | 2,2  | 0,7  | 0,85 | 0,62 | 1,54  | 0,95 | 2,42   |    |    |       |     |      |      |
| Палетоупаковщик                        | 1  | 1,1      | 1,1  | 0,5  | 0,8  | 0,75 | 0,55  | 0,4  | 1,21   |    |    |       |     |      |      |
| ИТП                                    | 1  | 5,5      | 5,5  | 0,7  | 0,85 | 0,62 | 3,85  | 2,39 | 30,25  |    |    |       |     |      |      |
| Ворота                                 | 2  | 0,4      |      |      |      |      |       |      | 0,32   |    |    |       |     |      |      |
| Розетки помещений 27, 28, 30, 31а и 32 | 1  | 3,5      |      |      |      |      |       |      | 12,25  |    |    |       |     |      |      |
| Розетка помещения 24                   | 1  | 2        |      |      |      |      |       |      | 4      |    |    |       |     |      |      |
| Розетка помещения 34                   | 1  | 1        |      |      |      |      |       |      | 1      |    |    |       |     |      |      |
| Освещение помещений 27, 28, 29 и входы | 1  | 0,3      |      |      |      |      |       |      | 0,09   | -  | -  | -     | -   | -    | -    |
| Освещение помещений 24, 25 и 26        | 1  | 0,4      | 15,6 | 0,7  | 0,9  | 0,48 | 10,92 | 5,29 | 0,16   |    |    |       |     |      |      |
| Освещение помещений 30, 31, 31а и 32   | 1  | 0,8      |      |      |      |      |       |      | 0,64   |    |    |       |     |      |      |
| Освещение                              | 1  | 1        |      |      |      |      |       |      | 1      |    |    |       |     |      |      |
| Вытяжные вентиляторы                   | 1  | 0,16     |      |      |      |      |       |      | 0,0256 |    |    |       |     |      |      |
| Щит тепловентиляторов                  | 1  | 3,37     |      |      |      |      |       |      | 11,36  |    |    |       |     |      |      |
| Всего на ЩР8                           | 15 | 5,5/0,16 | 24,4 | 0,69 | 0,88 | 0,54 | 16,86 | 9,04 | 64,7   | 8  | 1  | 16,86 | 9,9 | 19,6 | 29,7 |

Продолжение таблицы 2.1

| 1                             | 2   | 3         | 4      | 5     | 6    | 7     | 8      | 9     | 10     | 11 | 12 | 13     | 14    | 15     | 16     |
|-------------------------------|-----|-----------|--------|-------|------|-------|--------|-------|--------|----|----|--------|-------|--------|--------|
| ЩТ2                           | 1   | 3,28      | 3,28   | 1     | 0,92 | 0,426 | 3,28   | 1,4   | 10,76  | -  | -  | 3,28   | 1,4   | 3,6    | 5,4    |
| Всего на ШВ                   | 56  | 5,5/0,054 | 95,09  | 0,58  | 0,9  | 0,5   | 55,3   | 27,35 | 168,24 | 34 | 1  | 55,3   | 30,08 | 62,96  | 95,7   |
| Щит КПП1                      | 1   | 2         | 2      | 0,5   | 0,92 | 0,426 | 1      | 0,426 | 4      | -  | -  | 1      | 0,426 | 1,09   | 1,65   |
| Щит КПП2                      | 1   | 2         | 2      | 0,5   | 0,92 | 0,426 | 1      | 0,426 | 4      | -  | -  | 1      | 0,426 | 1,09   | 1,65   |
| ЩТ1                           | 1   | 3,16      | 3,16   | 1     | 0,92 | 0,426 | 3,16   | 1,35  | 10     | -  | -  | 3,16   | 1,35  | 3,4    | 5,22   |
| Всего на ВРУ без<br>освещения | 108 | 5,5/0,054 | 188,9  | 0,57  | 0,91 | 0,46  | 108,38 | 49,49 | 316,46 | 68 | 1  | 108,38 | 54,4  | 121,3  | 184,27 |
| Освещение                     | -   | -         | 9,488  | -     | 0,97 | 0,25  | 5,7    | 1,42  | -      | -  | -  | 5,7    | 1,42  | 5,87   | 8,9    |
| Всего на ВРУ                  | 108 | 5,5/0,054 | 198,38 | 0,575 | 0,91 | 0,45  | 114,1  | 50,91 | 316,46 | 72 | 1  | 114,1  | 50,91 | 124,92 | 189,8  |

### 3 Расчёт электрического освещения

В данном разделе ВКР произведём расчёт электрического освещения складской зоны и зоны погрузки и разгрузки товара. Расчёт искусственного освещения в производственных помещениях осуществляется согласно СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [4]. Для того чтобы рассчитать освещение, нужно произвести анализ помещения. Геометрические размеры помещения 10: длина  $A=29,25$  м, ширина  $B=6,74$  м и высота  $H=12$  м.

Для освещения помещений будем использовать светодиодные светильники фирмы «Varton».

В таблице 3.1 приведены характеристики помещений складского комплекса.

Таблица 3.1 – Характеристика помещений складского комплекса

| № | Наименование помещения           | Длина А, м | Ширина В, м | Высота Н, м | Коэффициент запаса $K_z$ | Коэффициент отражения $K_{отр}$ , % |       |      |
|---|----------------------------------|------------|-------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------|-------|------|
|   |                                  |            |             |             |                          | потолки                             | стены | полы |
| 1 | Зона погрузки и разгрузки товара | 29,25      | 6,74        | 12          | 1,5                      | 70                                  | 50    | 20   |
| 2 | Зона погрузки и разгрузки товара | 33,8       | 7,28        | 12          | 1,5                      | 70                                  | 50    | 20   |
| 3 | Складская зона                   | 39         | 52,75       | 12          | 1,5                      | 70                                  | 50    | 20   |
| 4 | Складская зона                   | 39         | 53,17       | 12          | 1,5                      | 70                                  | 50    | 20   |
| 5 | Зона погрузки и разгрузки товара | 26         | 5,52        | 12          | 1,5                      | 70                                  | 50    | 20   |
| 6 | Зона погрузки и разгрузки товара | 26         | 6,2         | 12          | 1,5                      | 70                                  | 50    | 20   |

«Для того чтобы найти коэффициент использования, нужно рассчитать индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2)(A + B)}, \quad (3.1)$$

где  $S$  – площадь помещения,  $m^2$ ;  $H$  – высота помещения, м;  $h_1$  – высота подвеса светильника;  $h_2$  – высота рабочей поверхности;  $A$  – длина помещения, м;  $B$  – ширина помещения, м.

$$i = \frac{197,11}{(2 - 0 - 0) \cdot (29,25 + 6,74)} = 0,46 \gg [5, 53 \text{ с.}].$$

Исходя из полученного индекса помещения и коэффициентов отражения, определим коэффициент использования.  $K_u = 0,59$ .

Рассчитаем количество светильников по формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k_3}{k_u \cdot n \cdot \Phi}, \quad (3.2)$$

где  $E$  – требуемая освещённость, лк;  $S$  – площадь помещения,  $m^2$ ;  $k_3$  – коэффициент запаса;  $k_u$  – коэффициент использования;  $n$  – число ламп в светильнике;  $\Phi$  – световой поток в лампе, лм.

Рассчитаем мощность светильников в помещении 10 по формуле:

$$P = N \cdot p, \quad (3.3)$$

где  $N$  – количество светильников в помещении, шт;  $p$  – мощность одного светильника, Вт.

$$P = 8 \cdot 36 = 288 \text{ Вт.}$$

Аналогично произведём расчёты для других помещений.

Произведём выбор светодиодных светильников для рассматриваемых помещений из каталога фирмы производителя [6]. Наименование светильников и их параметры представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры светодиодных светильников

| № | Наименование помещения           | Модель светильника | Световой поток $\Phi$ , лм | Мощность светильника $p$ , Вт | Количество светильников $N$ , шт | Мощность светильников $P$ , Вт |
|---|----------------------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Зона погрузки и разгрузки товара | Varton Strong IP65 | 4400                       | 36                            | 8                                | 288                            |
| 2 | Зона погрузки и разгрузки товара | Varton Strong IP65 | 4400                       | 36                            | 8                                | 288                            |

Продолжение таблицы 3.2

| № | Наименование помещения           | Модель светильника | Световой поток $\Phi$ , лм | Мощность светильника P, Вт | Количество светильников N, шт | Мощность светильников P, Вт |
|---|----------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 3 | Складская зона                   | Varton Iron 2.0    | 10300                      | 80                         | 52                            | 4160                        |
| 4 | Складская зона                   | Varton Iron 2.0    | 10300                      | 80                         | 54                            | 4320                        |
| 5 | Зона погрузки и разгрузки товара | Varton Strong IP65 | 4400                       | 36                         | 6                             | 216                         |
| 6 | Зона погрузки и разгрузки товара | Varton Strong IP65 | 4400                       | 36                         | 6                             | 216                         |

#### 4 Выбор силовых трансформаторов

Потребители складского комплекса относятся к III группе надёжности электроснабжения, поэтому в схеме питания комплекса резервирование не предусматривается. Питание будет осуществляться однотономной подстанцией.

К установке принимаем маслонеполненный трансформатор, так как он имеет меньшие потери и более высокую эффективность по сравнению с сухим трансформатором [7, с. 131].

При выборе мощности трансформатора будем руководствоваться следующими параметрами: число трансформаторов  $N_T = 1$ , коэффициент загрузки трансформатора  $K_3 = 0,9$ .

Рассчитаем мощность трансформатора, принимаемого к установке по формуле:

$$S_{ном.т} = \frac{P_p}{N_T \cdot K_3}, \quad (4.1)$$

где  $P_p$  - расчётная суммарная активная мощность, кВт;  $N_T$  - число трансформаторов, шт;  $K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора.

$$S_{ном.т} = \frac{114,1}{1 \cdot 0,9} = 126,8.$$

Принимаем к установке трансформатор типа ТМГ – 160/10(6). Данный трансформатор является трёхфазным масляным герметичным с номинальной мощностью 160 кВА.

Паспортные данные трансформатора ТМГ – 160/10(6) представлены в таблице 4.1.



Таблица 4.1 – Паспортные данные трансформатора ТМГ – 160/10(6)

| $P_{xx}$ , кВт | $P_{кз}$ , кВт | $U_{кз}$ , % | $i_{xx}$ , % | $K_3$ | $N_T$ , шт | $S_{ном.т}$ ,<br>кВА |
|----------------|----------------|--------------|--------------|-------|------------|----------------------|
| 0,35           | 2,9            | 4,5          | 1,1          | 0,9   | 1          | 160                  |

Рассчитаем активные потери в трансформаторе по формуле:

$$\Delta P = N_T \cdot P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}, \quad (4.2)$$

где  $N_T$  - число трансформаторов, шт;  $P_{xx}$  - потери холостого хода, кВт;  $K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора;  $P_{кз}$  - потери короткого замыкания, кВт.

$$\Delta P = 1 \cdot 0,35 + 0,9^2 \cdot 2,9 = 2,7 \text{ кВт.}$$

Рассчитаем реактивные потери в трансформаторе по формуле:

$$\Delta Q = N_T \cdot (i_{xx} + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_{ном.т}}{100}, \quad (4.3)$$

где  $N_T$  - число трансформаторов, шт;  $i_{xx}$  - ток холостого хода, %;  $K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора;  $U_{кз}$  - напряжение короткого замыкания, %;  $S_{ном.т}$  - номинальная мощность трансформатора, кВА.

$$\Delta Q = 1 \cdot (1,1 + 0,9^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{160}{100} = 7,6 \text{ квар.}$$

Рассчитаем активную и реактивную мощности с учётом потерь по формулам:

$$\Sigma P_p = P_p + \Delta P, \quad (4.4)$$

где  $P_p$  - расчётная суммарная активная мощность, кВт;  $\Delta P$  - активные потери в трансформаторе, кВт.

$$\Sigma P_p = 114,1 + 2,7 = 116,6 \text{ кВт.}$$

$$\Sigma Q_p = Q_p + \Delta Q, \quad (4.5)$$

где  $Q_p$  - расчётная суммарная реактивная мощность, кВт;  $\Delta Q$  - реактивные потери в трансформаторе, кВт.

$$\Sigma Q_p = 50,91 + 7,6 = 58,5 \text{ квар.}$$

Проведём предварительную проверку выбранного трансформатора по допустимой перегрузке по соотношению:

$$1,3 \cdot S_{ном.т} \geq P_p, \quad (4.6)$$

где  $S_{ном.т}$  - номинальная мощность трансформатора, кВА;  $P_p$  - расчётная суммарная активная мощность, кВт.

$$1,3 \cdot 160 = 208 \geq 114,1.$$

Рассчитаем действительный коэффициент загрузки при условии полной компенсации реактивной мощности по формуле:

$$K_{з.д} = \frac{P_p}{N_T \cdot S_{ном.т}}, \quad (4.7)$$

где  $P_p$  - расчётная суммарная активная мощность, кВт;  $N_T$  - число трансформаторов, шт;  $S_{ном.т}$  - номинальная мощность трансформатора, кВА.

$$K_{з.д} = \frac{114,1}{1 \cdot 160} = 0,71.$$

Рассчитаем реактивную мощность, которую можно передать через трансформатор с учётом требуемого коэффициента загрузки по формуле:

$$Q_1 = \sqrt{(K_3 \cdot S_{ном.т})^2 - \Sigma P_p^2}, \quad (4.8)$$

где  $K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора;  $S_{ном.т}$  - номинальная мощность трансформатора, кВА;  $P_p$  - расчётная суммарная активная мощность, кВт.

$$Q_1 = \sqrt{(0,9 \cdot 160)^2 - 116,6^2} = 84,226 \text{ квар.}$$

Рассчитаем требуемую мощность конденсаторных батарей с учётом пропускной способности трансформатора по формуле:

$$Q_{ку.мп1} = \sum Q_p - Q_1, \quad (4.9)$$

где  $\sum Q_p$  - реактивная мощность с учётом потерь, квар;  $Q_1$  - реактивная мощность, которую можно передать через трансформатор с учётом требуемого коэффициента загрузки, квар.

$$Q_{ку.мп1} = 58,5 - 84,226 = -25,7 \text{ квар.}$$

Рассчитаем часть экономической реактивной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы данной трансформаторной подстанцией по формуле:

$$Q_{э} = tg \varphi_{э} \cdot \sum P_p, \quad (4.10)$$

где  $tg \varphi_{э}$  - коэффициент мощности, при котором потребление реактивной мощности не выходит за пределы экономических значений;  $\sum P_p$  - активная мощность с учётом потерь, кВт.

$$Q_{э} = 0,45 \cdot 116,8 = 52,56 \text{ квар.}$$

Рассчитаем требуемую мощность конденсаторных батарей с учётом коэффициента мощности по формуле:

$$Q_{ку.мп2} = \sum Q_p - Q_{э}, \quad (4.11)$$

где  $\sum Q_p$  - реактивная мощность с учётом потерь, квар;  $Q_{э}$  - часть экономической реактивной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы данной трансформаторной подстанцией, квар.

$$Q_{ку.мп2} = 58,5 - 52,56 = 5,94 \text{ квар.}$$

Выберем из двух значений мощности конденсаторных батарей большее, тогда  $Q_{ку} = Q_{ку.мп2} = 5,94$  квар. Так как данное значение меньше 50 квар, установка конденсаторных батарей не требуется [8, с. 39].

Аналогично произведём расчёты для трансформатора ТМГ – 250/10(6).

Таблица 4.2 – Паспортные данные трансформатора ТМГ – 250/10(6)

| $P_{xx}$ , кВт | $P_{кз}$ , кВт | $U_{кз}$ , % | $i_{xx}$ , % | $K_3$ | $N_T$ , шт | $S_{ном.т}$ ,<br>кВА |
|----------------|----------------|--------------|--------------|-------|------------|----------------------|
| 0,51           | 3,5            | 4,5          | 0,45         | 0,9   | 1          | 250                  |

Расчётные данные для трансформатора ТМГ – 250/10(6) сведём в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Расчётные данные для трансформатора ТМГ – 250/10(6)

| $\Delta P$ | $\Delta Q$ | $\Sigma P_p$ | $\Sigma Q_p$ | $1,3 \cdot S_{ном.т}$ | $K_{з.д}$ | $Q_1$ | $Q_{ку.тp1}$ | $Q_3$ | $Q_{ку.тp2}$ |
|------------|------------|--------------|--------------|-----------------------|-----------|-------|--------------|-------|--------------|
| 3,3        | 10,2       | 117,4        | 61,15        | 325                   | 0,46      | 191,9 | -130,8       | 52,85 | 8,3          |

Исходя из расчётных данных для трансформатора ТМГ – 250/10(6), можно сделать вывод, что конденсаторные батареи не устанавливаются.

Произведём технико-экономическое сравнение трансформаторов ТМГ – 160/10(6) и ТМГ – 250/10(6).

Рассчитаем приведённые затраты для трансформатора ТМГ – 160/10(6) по формуле:

$$Z = E_K \cdot K + I, \quad (4.12)$$

где  $E_K$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  $K$  - единовременные капитальные вложения на установку трансформаторной подстанции, руб.;  $I$  - ежегодные издержки производства, руб. [9, с. 43].

Рассчитаем единовременные капитальные вложения на установку трансформаторной подстанции по формуле:

$$K = K_{кмп} + K_m, \quad (4.13)$$

где  $K_{кмп}$  - капитальные вложения на установку ктп, руб.;  $K_m$  - капитальные вложения на установку трансформатора, руб.

Рассчитаем ежегодные издержки производства по формуле:

$$I = I_a + I_3, \quad (4.14)$$

где  $I_a$  - расходы на эксплуатацию, ремонт и амортизационные отчисления, руб.;  $I_{\text{э}}$  - стоимость годовых потерь электроэнергии, руб.

Рассчитаем расходы на эксплуатацию, ремонт и амортизационные отчисления по формуле:

$$I_a = \frac{(p_a + p_{\text{э}} + p_p)}{100} \cdot K, \quad (4.15)$$

где  $p_a$  - норма амортизации;  $p_{\text{э}}$  - расходы на эксплуатацию;  $p_p$  - расходы на ремонт;  $K$  - единовременные капитальные вложения на установку трансформаторной подстанции, руб.

Рассчитаем стоимость годовых потерь электроэнергии по формуле:

$$I_{\text{э}} = C \cdot \Delta W, \quad (4.16)$$

где  $C$  - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч;  $\Delta W$  - годовые потери электроэнергии, кВт·ч.

Годовые потери электроэнергии рассчитываются по формуле:

$$\Delta W = N \cdot (P_{\text{хх}} \cdot t + P_{\text{кз}} \cdot K_3^2 \cdot \tau), \quad (4.17)$$

где  $N_T$  - число трансформаторов, шт;  $P_{\text{хх}}$  - потери холостого хода, кВт;  $t$  - годовое число часов работы трансформатора, ч;  $P_{\text{кз}}$  - потери короткого замыкания, кВт;  $K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора;  $\tau$  - время использования максимума потерь, ч.

Время использования максимума потерь можно определить по формуле:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot t, \quad (4.18)$$

где  $T_M$  - время использования максимальной нагрузки, ч;  $t$  - годовое число часов работы трансформатора, ч.

Время использования максимума потерь составит:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{2500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 1225,3 \text{ ч.}$$

Величина годовых потерь электроэнергии составит:

$$\Delta W = 1 \cdot (0,35 \cdot 8760 + 2,9 \cdot 0,9^2 \cdot 1225,3) = 5944,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость годовых потерь электроэнергии составит:

$$I_{\text{э}} = 2,4 \cdot 5944,3 = 14266,2 \text{ руб.}$$

Величина единовременных капитальных вложений на установку трансформаторной подстанции составит:

$$K = 130000 + 129000 = 259000 \text{ руб.}$$

Рассчитаем расходы на эксплуатацию, ремонт и амортизационные отчисления:

$$I_a = \frac{(20 + 3 + 2,9)}{100} \cdot 259000 = 67081 \text{ руб.}$$

Величина ежегодных издержек производства составит:

$$I = 67081 + 14266,2 = 81347,2 \text{ руб.}$$

Приведённые затраты для трансформатора ТМГ – 160/10(6) составят:

$$Z = 0,15 \cdot 259000 + 81347,2 = 120197,2 \text{ руб.}$$

Приведённые затраты для трансформатора ТМГ – 250/10(6) рассчитаны аналогично и сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Приведённые затраты для трансформаторов ТМГ – 160/10(6) и ТМГ – 250/10(6).

| Приведённые затраты $Z$ , руб. |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| ТМГ – 160/10(6)                | ТМГ – 250/10(6) |
| 120197,2 руб.                  | 141350,3 руб.   |

Исходя из произведённого технико-экономического сравнения, принимаем к установке КТП – ТВ 160/10(6)/0,4 с трансформатором ТМГ – 160/10(6).

## **5 Выбор схемы электроснабжения**

Основные требования, предъявляемые к схеме электроснабжения заключаются в обеспечении: надёжности, удобстве и безопасности обслуживания, а также оптимальных технико-экономических показателей.

Электроприёмники, установленные в складском комплексе характеризуются разной мощностью и неравномерностью их распределения по территории предприятия. Так как в составе электроприёмников отсутствуют устройства, связанные единым технологическим процессом, то установка магистрального шинопровода не требуется.

Учитывая характеристики электроприёмников и их расположение по территории комплекса, была выбрана радиальная схема электроснабжения. Питание потребителей осуществляется от отдельных распределительных пунктов с применением кабелей.

Главным критерием выбора радиальной схемы является высокая надёжность электроснабжения. В случае возникновения аварии, происходит отключение электроприёмников повреждённого участка, в то время как питание других линий остаётся непрерывным.

Основным недостатком данной схемы является большая протяжённость кабельных линий, что увеличивает стоимость системы электроснабжения и затраты на её монтаж.

## 6 Расчёт номинальных токов и выбор сечений кабелей

Одним из важнейших параметров любого электроприёмника является номинальный ток. Номинальный ток – это наибольший допустимый по условиям нагрева и изоляции ток, при котором оборудование может работать неограниченно длительное время. Именно этот параметр является основным при выборе электрооборудования.

Рассчитаем номинальный ток для однофазных электроприёмников по формуле:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{U_{ном} \cdot \cos \varphi}, \quad (6.1)$$

где  $P_{ном}$  - номинальная мощность электроприёмника, кВт;  $U_{ном}$  - номинальное напряжение, кВ;  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности.

Рассчитаем номинальный ток на примере вытяжного вентилятора.

$$I_{ном} = \frac{0,24}{0,22 \cdot 0,94} = 1,1 \text{ А.}$$

Рассчитаем номинальный ток для трёхфазных электроприёмников по формуле:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi}, \quad (6.2)$$

Рассчитаем номинальный ток на примере уравнительной платформы.

$$I_{ном} = \frac{1,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 1,93 \text{ А.}$$

Номинальные токи для остальных электроприёмников рассчитаны аналогично и результаты сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Номинальные токи электроприёмников

| Наименование ЭП             | $I_{ном}, \text{ А}$ | Наименование ЭП            | $I_{ном}, \text{ А}$ |
|-----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| 1                           | 2                    | 3                          | 4                    |
| Розетки помещений 3<br>и 35 | 9                    | Розетки помещений 6<br>и 7 | 4,5                  |



Продолжение таблицы 6.1

| 1  | 2    | 3  | 4    |
|--|------|--|------|
| Розетки помещений 4 и 5                                | 6,3  | Освещение помещений 2, 3, 7 и 35           | 2,9  |
| Освещение помещений 1, 4, 5 и 6                        | 2,3  | ЯТПР – 220/12                              | 2,2  |
| Вытяжные вентиляторы                                   | 1,1  | Розетки помещений 13 и 14                  | 13,6 |
| Розетки помещений 3, 11 и 12                           | 12,7 | Розетки помещений 5, 6, 8 и 9              | 10   |
| Розетка помещения 27                                   | 4,5  | Освещение помещений 1, 2 и 27              | 2,7  |
| Освещение помещений 4, 5, 5а, 6, 8, 9, 9а, 10, 11 и 12 | 4,5  | Освещение помещений 3, 13 и 14             | 3,2  |
| Освещение помещения 7                                  | 2    | Наружный блок                              | 14,5 |
| Наружный блок  | 7,7  | Дренажные помпы                            | 0,3  |
| Вытяжные вентиляторы                                   | 2,7  | Розетки помещений 12 и 13                  | 13,6 |
| Розетки помещений 9 и 11                               | 13,6 | Розетки помещений 6, 8 и 10                | 11,3 |
| Розетки помещений 3, 4 и 5                             | 11,3 | Освещение помещений 1, 2 и 7               | 2,3  |
| Освещение помещений 3, 4, 5, 6, 8 и 10                 | 4    | Освещение помещений 9, 11, 12 и 13         | 3,6  |
| Наружный блок  | 14,5 | Наружный блок                              | 10   |
| Дренажные помпы  | 0,33 | Вытяжные вентиляторы                       | 2,4  |
| Уравнительная платформа                                | 1,93 | Уравнительная платформа                    | 1,93 |
| Ворота   | 4    | Ворота                                     | 4    |
| Палетоупаковщик  | 1,7  | Розетки помещений 15, 15а, 16, 18, 19 и 20 | 15,9 |
| Розетка помещения 23                                   | 9    | Розетка помещения 37                       | 4,5  |
| Освещение помещений 17, 19, 20 и входов                | 1,36 | Освещение помещений 21, 22 и 23            | 1,9  |
| Освещение помещений 14, 15, 15а, 16, 18, 37 и 38       | 3,6  | Освещение                                  | 4,5  |
| Вытяжные вентиляторы                                   | 1,55 | Щит тепловентиляторов                      | 19,8 |
| Уравнительная платформа                                | 1,93 | Уравнительная платформа                    | 1,93 |
| Подъёмник для инвалидов                                | 3,8  | Ворота                                     | 4    |
| Ворота   | 4    | Уравнительная платформа                    | 1,93 |
| Уравнительная платформа                                | 1,93 | Уравнительная платформа                    | 1,93 |

Продолжение таблицы 6.1

| 1                                      | 2    | 3                                      | 4    |
|--|------|--|------|
| Ворота                                 | 4    | Ворота                                 | 4    |
| Ворота                                 | 4    | Розетка помещения 36                   | 9    |
| Розетка помещения 39                   | 4,5  | Освещение помещения 39                 | 0,9  |
| Освещение помещений 8, 9 и 36          | 1,4  | ЯТПР – 220/12                          | 1,18 |
| Вытяжные вентиляторы                   | 0,5  | Розетки помещений 15 и 16              | 8,1  |
| Розетки помещений 17 и 18              | 9,5  | Розетки помещений 20, 21 и 22          | 13,6 |
| Розетки помещений 23 и 24              | 6,3  | Освещение помещения 19                 | 2,3  |
| Освещение помещений 23, 24, 25 и 26    | 1,8  | Освещение помещений 20, 21 и 22        | 3,6  |
| Освещение помещений 17 и 18            | 1,4  | Освещение помещений 15 и 16            | 2,7  |
| Наружный блок                          | 14,5 | Наружный блок                          | 4,5  |
| Наружный блок                          | 4,5  | Дренажные помпы                        | 0,7  |
| Вытяжные вентиляторы                   | 0,3  | Розетки помещений 14 и 15              | 13,6 |
| Розетки помещений 16 и 17              | 11,4 | Розетки помещений 19, 20 и 21          | 13,6 |
| Розетки помещений 22 и 23              | 6,4  | Освещение помещения 18                 | 2,3  |
| Освещение помещений 22, 23, 24 и 25    | 1,8  | Освещение помещений 19, 20 и 21        | 3,6  |
| Освещение помещений 16 и 17            | 1,4  | Освещение помещений 14 и 15            | 2,7  |
| Наружный блок                          | 14,5 | Наружный блок                          | 14,5 |
| Наружный блок                          | 9,9  | Дренажные помпы                        | 0,5  |
| Вытяжные вентиляторы                   | 0,3  | Уравнительная платформа                | 1,93 |
| Уравнительная платформа                | 1,93 | Ворота                                 | 4    |
| Ворота                                 | 4    | Палетоупаковщик                        | 1,7  |
| ИТП                                    | 10,5 | Розетки помещений 27, 28, 30, 31а и 32 | 15,9 |
| Розетка помещения 24                   | 9    | Розетка помещения 34                   | 4,5  |
| Освещение помещений 27, 28, 29 и входы | 1,36 | Освещение помещений 24, 25 и 26        | 1,9  |
| Освещение помещений 30, 31, 31а и 32   | 3,6  | Освещение                              | 4,5  |
| Вытяжные вентиляторы                   | 0,73 | Щит тепловентиляторов                  | 19,8 |

Продолжение таблицы 6.1

|          |      |          |      |
|----------|------|----------|------|
| 1        | 2    | 3        | 4    |
| ЩТ2      | 14,8 | Щит КПП1 | 3    |
| Щит КПП2 | 3    | ЩТ1      | 14,3 |

Сечение кабелей выбирается сравнением расчётного тока с допустимым длительным током принятых марок кабелей [10].

Должно выполняться условие:

$$I_p \leq K_n \cdot I_{дон}, \quad (6.3)$$

где  $I_p$  - расчётный ток, А;  $K_n$  - поправочный коэффициент на условия прокладки;  $I_{дон}$  - допустимый длительный ток, А [11, с. 189].

$$K_n = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (6.4)$$

где  $K_1$  - поправочный коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды;  $K_2$  - поправочный коэффициент на число работающих кабелей;  $K_3$  - поправочный коэффициент на способ прокладки, равный 1 [12, с. 145].

Произведём выбор марки и сечения кабеля, проходящего до розеток помещений 3 и 35.

$$K_n = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,$$

$$9 \leq 1 \cdot 27.$$

Данный кабель был выбран марки ВВГнг-LS 3×2,5.

Марки и сечения кабелей для остальных электроприёмников выбраны аналогично и сведены в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Марки и сечения кабелей.

| Наименование ЭП                 | $I_{ном}, А$   | Наименование ЭП                  | $I_{ном}, А$   |
|---------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|
| 1                               | 2              | 3                                | 4              |
| Розетки помещений 3 и 35        | ВВГнг-LS 3×2,5 | Розетки помещений 6 и 7          | ВВГнг-LS 3×2,5 |
| Розетки помещений 4 и 5         | ВВГнг-LS 3×2,5 | Освещение помещений 2, 3, 7 и 35 | ВВГнг-LS 3×1,5 |
| Освещение помещений 1, 4, 5 и 6 | ВВГнг-LS 3×1,5 | ЯТПР – 220/12                    | ВВГнг-LS 3×1,5 |

Продолжение таблицы 6.2

| 1  | 2                | 3  | 4                |
|--|------------------|--|------------------|
| Вытяжные вентиляторы                                   | ВВГнг-LS 3 × 1   | Розетки помещений 13 и 14                  | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Розетки помещений 3, 11 и 12                           | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Розетки помещений 5, 6, 8 и 9              | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Розетка помещения 27                                   | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Освещение помещений 1, 2 и 27              | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Освещение помещений 4, 5, 5а, 6, 8, 9, 9а, 10, 11 и 12 | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Освещение помещений 3, 13 и 14             | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Освещение помещения 7                                  | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Наружный блок                              | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Наружный блок  | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Дренажные помпы                            | ВВГнг-LS 2 × 1,5 |
| Вытяжные вентиляторы                                   | ВВГнг-LS 3 × 1   | Розетки помещений 12 и 13                  | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Розетки помещений 9 и 11                               | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Розетки помещений 6, 8 и 10                | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Розетки помещений 3, 4 и 5                             | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Освещение помещений 1, 2 и 7               | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Освещение помещений 3, 4, 5, 6, 8 и 10                 | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Освещение помещений 9, 11, 12 и 13         | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Наружный блок  | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Наружный блок                              | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Дренажные помпы  | ВВГнг-LS 2 × 1,5 | Вытяжные вентиляторы                       | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Уравнительная платформа                                | ВВГнг-LS 5 × 1,5 | Уравнительная платформа                    | ВВГнг-LS 5 × 1,5 |
| Ворота   | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Ворота                                     | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Палетоупаковщик  | ВВГнг-LS 5 × 1,5 | Розетки помещений 15, 15а, 16, 18, 19 и 20 | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Розетка помещения 23                                   | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Розетка помещения 37                       | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Освещение помещений 17, 19, 20 и входов                | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Освещение помещений 21, 22 и 23            | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Освещение помещений 14, 15, 15а, 16, 18, 37 и 38       | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Освещение                                  | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Вытяжные вентиляторы                                   | ВВГнг-LS 3 × 1   | Щит тепловентиляторов                      | ВВГнг-LS 3 × 4   |
| Уравнительная платформа                                | ВВГнг-LS 5 × 1,5 | Уравнительная платформа                    | ВВГнг-LS 5 × 1,5 |
| Подъёмник для инвалидов                                | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Ворота                                     | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Ворота   | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Уравнительная платформа                    | ВВГнг-LS 5 × 1,5 |
| Уравнительная платформа                                | ВВГнг-LS 5 × 1,5 | Уравнительная платформа                    | ВВГнг-LS 5 × 1,5 |
| Ворота   | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Ворота                                     | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Ворота   | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Розетка помещения 36                       | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |

Продолжение таблицы 6.2

| 1                                      | 2                | 3                                      | 4                |
|--|------------------|--|------------------|
| Розетка помещения 39                   | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Освещение помещения 39                 | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Освещение помещений 8, 9 и 36          | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | ЯТПР – 220/12                          | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Вытяжные вентиляторы                   | ВВГнг-LS 3 × 1   | Розетки помещений 15 и 16              | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Розетки помещений 17 и 18              | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Розетки помещений 20, 21 и 22          | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Розетки помещений 23 и 24              | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Освещение помещения 19                 | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Освещение помещений 23, 24, 25 и 26    | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Освещение помещений 20, 21 и 22        | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Освещение помещений 17 и 18            | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Освещение помещений 15 и 16            | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Наружный блок                          | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Наружный блок                          | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Наружный блок                          | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Дренажные помпы                        | ВВГнг-LS 2 × 1,5 |
| Вытяжные вентиляторы                   | ВВГнг-LS 3 × 1   | Розетки помещений 14 и 15              | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Розетки помещений 16 и 17              | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Розетки помещений 19, 20 и 21          | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Розетки помещений 22 и 23              | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Освещение помещения 18                 | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Освещение помещений 22, 23, 24 и 25    | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Освещение помещений 19, 20 и 21        | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Освещение помещений 16 и 17            | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Освещение помещений 14 и 15            | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Наружный блок                          | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Наружный блок                          | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Наружный блок                          | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Дренажные помпы                        | ВВГнг-LS 2 × 1,5 |
| Вытяжные вентиляторы                   | ВВГнг-LS 3 × 1   | Уравнительная платформа                | ВВГнг-LS 5 × 1,5 |
| Уравнительная платформа                | ВВГнг-LS 5 × 1,5 | Ворота                                 | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Ворота                                 | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Палетоупаковщик                        | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| ИТП                                    | ВВГнг-LS 5 × 4   | Розетки помещений 27, 28, 30, 31а и 32 | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Розетка помещения 24                   | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Розетка помещения 34                   | ВВГнг-LS 3 × 2,5 |
| Освещение помещений 27, 28, 29 и входы | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Освещение помещений 24, 25 и 26        | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Освещение помещений 30, 31, 31а и 32   | ВВГнг-LS 3 × 1,5 | Освещение                              | ВВГнг-LS 3 × 1,5 |
| Вытяжные вентиляторы                   | ВВГнг-LS 3 × 1   | Щит тепловентиляторов                  | ВВГнг-LS 3 × 4   |
| ЩТ2                                    | ВВГнг-LS 3 × 2,5 | Щит КПП1                               | АВБШв 5 × 4      |

Продолжение таблицы 6.2

| 1        | 2                 | 3    | 4                 |
|----------|-------------------|------|-------------------|
| Щит КПП2 | АВБбШв 5 × 4      | ЩТ1  | ВВГнг-LS 3 × 2,5  |
| ЩР1      | ВВГнг-LS 5 × 2,5  | ЩР2  | ВВГнг-LS 5 × 4    |
| ЩР3      | ВВГнг-LS 5 × 4    | ЩР4  | ВВГнг-LS 5 × 6    |
| ЩСТ1     | ВВГнг-LS 5 × 2,5  | ЩСТ2 | ВВГнг-LS 5 × 2,5  |
| ЩР5      | ВВГнг-LS 5 × 2,5  | ЩР6  | ВВГнг-LS 5 × 4    |
| ЩР7      | ВВГнг-LS 5 × 4    | ЩР8  | ВВГнг-LS 5 × 6    |
| ШВ       | ВВГнг-LS 5 × 35   | РП   | 3ПуГВнг-LS 1 × 95 |
| ВРУ      | АВБбШв-нг 4 × 120 | -    | -                 |

Рассчитаем потери напряжения в сети до самого удалённого электроприёмника по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L}{U_L} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100\% , \quad (6.5)$$

где  $I_p$  - расчётный ток в линии на данном участке, А;  $L$  - расстояние от точки питания до приложения равнодействующей нагрузки, км;  $U_L$  - линейное напряжение, В;  $r_0$ ,  $x_0$  - активное и индуктивное сопротивления линии,  $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ .

Рассчитаем потери напряжения до сети освещения по формуле:

$$\Delta U_{осв} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,5 \cdot 0,09}{220} \cdot (12,3 \cdot 0,9 + 0,126 \cdot 0,436) \cdot 100 = 3,55\% .$$

Аналогично рассчитаем потери напряжения до ЩР8, ШВ, РП и ВРУ.

$$\Delta U_{щр8} = \frac{\sqrt{3} \cdot 24,9 \cdot 0,105}{380} \cdot (3,09 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,436) \cdot 100 = 3,37\% ,$$

$$\Delta U_{шв} = \frac{\sqrt{3} \cdot 91,7 \cdot 0,08}{380} \cdot (0,53 \cdot 0,92 + 0,088 \cdot 0,392) \cdot 100 = 1,746\% ,$$

$$\Delta U_{рп} = \frac{\sqrt{3} \cdot 172 \cdot 0,015}{380} \cdot (0,195 \cdot 0,92 + 0,081 \cdot 0,392) \cdot 100 = 0,25\% ,$$

$$\Delta U_{\text{вру}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 172 \cdot 0,1}{380} \cdot (0,261 \cdot 0,92 + 0,08 \cdot 0,392) \cdot 100 = 2,13 \%$$

Рассчитаем суммарные потери напряжения до самого удалённого электроприёмника:

$$\Delta U = 105 - 3,55 - 3,37 - 1,746 - 0,25 - 2,13 = 93,95 \%$$

Напряжение наиболее удалённого электроприёмника находится в пределах допустимого значения.

## 7 Расчёт токов короткого замыкания

Согласно ГОСТ 28249-93 «Короткое замыкание в электроустановке: всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек (фаз) электроустановки между собой или с землёй, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима» [13].

Расчёт токов короткого замыкания необходим для проверки выбранного электрооборудования и коммутационных аппаратов.

Произведём расчёт сопротивлений различных элементов схемы замещения.

Рассчитаем индуктивное сопротивление энергосистемы по формуле:

$$X_c = \frac{U_{HH}^2}{S_K} \cdot 10^3, \quad (7.1)$$

где  $U_{HH}$  - напряжение на стороне НН, кВ;  $S_K$  - мощность короткого замыкания, МВА.

$$X_c = \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ мОм.}$$

Произведём расчёт активного и индуктивного сопротивлений обмоток силового трансформатора ТМГ – 160/10(6) по формулам:

Активное сопротивление:

$$R_{T1} = \frac{P_{K3} \cdot U_{HH}^2}{S_{ном.т} \cdot 2} \cdot 10^6, \quad (7.2)$$

где  $P_{K3}$  - потери короткого замыкания, кВт;  $U_{HH}$  - напряжение на стороне НН, кВ;  $S_{ном.т}$  - номинальная мощность трансформатора, кВА.

Индуктивное сопротивление:



$$X_{T1} = \sqrt{U_{K3}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{K3}}{S_{НОМ.т}}\right)^2} \cdot \frac{U_{НН}^2}{S_{НОМ.т}} \cdot 10^4. \quad (7.3)$$

где  $U_{K3}$  - напряжение короткого замыкания, %;  $P_{K3}$  - потери короткого замыкания, кВт;  $S_{НОМ.т}$  - номинальная мощность трансформатора, кВА;  $U_{НН}$  - напряжение на стороне НН, кВ.

$$R_{T1} = \frac{3,5 \cdot 0,4^2}{160^2} \cdot 10^6 = 21,875 \text{ мОм},$$

$$X_{T1} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 3,5}{160}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{160} \cdot 10^4 = 39,325 \text{ мОм}.$$

Рассчитаем активное и индуктивное сопротивления кабелей по формулам:

$$R_{кл} = R_{уд} \cdot l, \quad (7.4)$$

$$X_{кл} = X_{уд} \cdot l, \quad (7.5)$$

где  $R_{уд}$  - удельное активное сопротивление,  $\frac{\text{мОм}}{\text{м}}$ ;  $X_{уд}$  - удельное индуктивное сопротивление,  $\frac{\text{мОм}}{\text{м}}$ ;  $l$  - длина кабельной линии, м [14, с. 78].

Произведём расчёт активного сопротивления кабельных линий КЛ1, КЛ2, КЛ3 и КЛ4.

$$R_{кл1} = 0,195 \cdot 15 = 2,925 \text{ мОм},$$

$$R_{кл2} = 0,53 \cdot 80 = 42,4 \text{ мОм},$$

$$R_{кл3} = 3,09 \cdot 105 = 324,45 \text{ мОм},$$

$$R_{кл4} = 12,3 \cdot 90 = 1107 \text{ мОм}.$$

Рассчитаем индуктивное сопротивление кабельных линий КЛ1, КЛ2, КЛ3 и КЛ4.

$$X_{кл1} = 0,081 \cdot 15 = 1,215 \text{ мОм},$$

$$X_{кл2} = 0,088 \cdot 80 = 7,04 \text{ мОм},$$

$$X_{кл3} = 0,1 \cdot 105 = 10,5 \text{ мОм},$$

$$X_{кл4} = 0,126 \cdot 90 = 11,34 \text{ мОм}.$$

Определим сопротивления автоматических выключателей:

- автоматический выключатель в КТП:  $R_{ав1} = 0,4 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав1} = 0,5 \text{ мОм}$ ;
- автоматические выключатели к РП:  $R_{ав2} = 0,4 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав2} = 0,5 \text{ мОм}$ ,  $R_{ав3} = 0,4 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав3} = 0,5 \text{ мОм}$ ;
- автоматический выключатель к ШВ:  $R_{ав4} = 0,7 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав4} = 0,7 \text{ мОм}$ ;
- автоматический выключатель к ЦР8:  $R_{ав5} = 5,5 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав5} = 4,5 \text{ мОм}$ ;
- автоматический выключатель к ЭП:  $R_{ав6} = 5,5 \text{ мОм}$ ,  $X_{ав6} = 4,5 \text{ мОм}$ .

Произведём предварительный выбор автоматических выключателей по  $I_p$ :

- автоматический выключатель в КТП: Schneider Electric EZC400N 1P 250A;
- автоматические выключатели к РП: Schneider Electric EZC250N 3P 200A, Schneider Electric EZC400N 1P 250A;
- автоматический выключатель к ШВ: Schneider Electric C120N 3P 125A
- автоматический выключатель к ЦР8: Schneider Electric iC60N 3P 32A;
- автоматический выключатель к ЭП: ИЕК ВА47-29 1P 6A.

Определим сопротивления трансформаторов тока:

- трансформатор тока в КТП:  $R_{ТТ1} = 0,2 \text{ мОм}$ ,  $X_{ТТ1} = 0,3 \text{ мОм}$ ;
- трансформатор тока к РП:  $R_{ТТ2} = 0,11 \text{ мОм}$ ,  $X_{ТТ2} = 0,17 \text{ мОм}$

На рисунке 7.1 представлена электрическая схема для расчёта короткого замыкания.

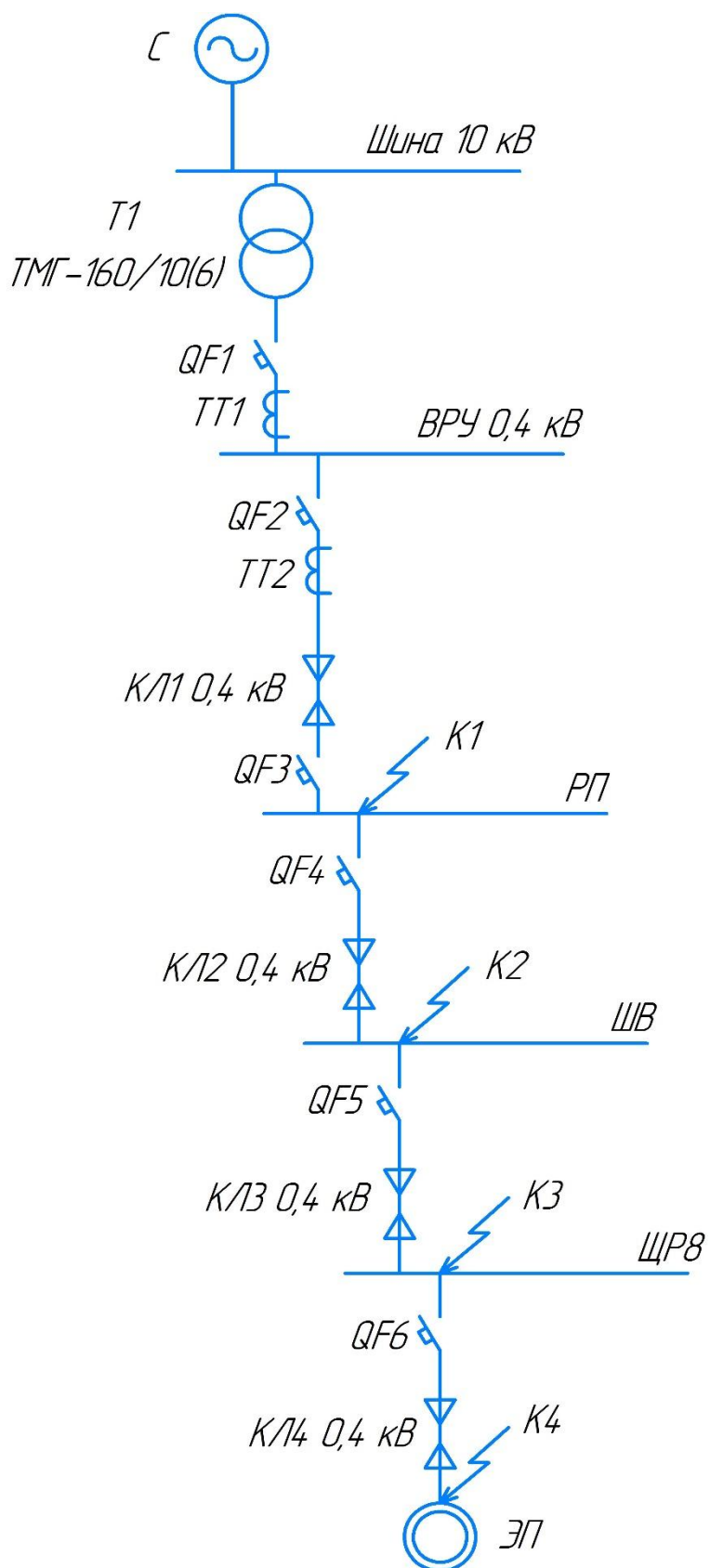


Рисунок 7.1 – Электрическая схема для расчёта короткого замыкания

На рисунке 7.2 представлена схема замещения для расчёта КЗ.

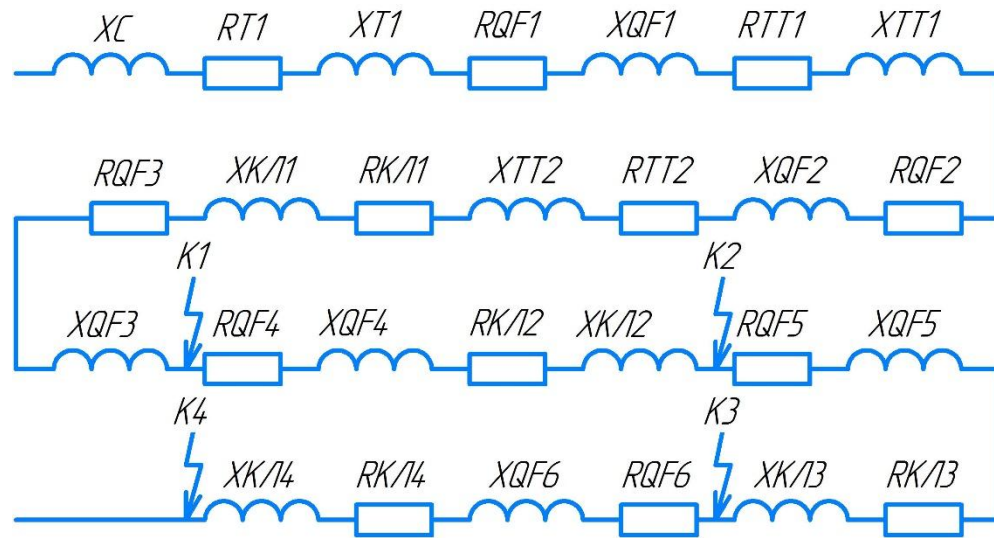


Рисунок 7.2 – Схема замещения для расчёта КЗ

Произведём расчёт короткого замыкания до точки К1.

Рассчитаем суммарные активные и индуктивные сопротивления по формулам:

$$R_{1\Sigma} = R_{T1} + R_{av1} + R_{TT1} + R_{av2} + R_{TT2} + R_{кл1} + R_{av3}, \quad (7.6)$$

где  $R_{T1}$  - активное сопротивление силового трансформатора, мОм;  $R_{av1}$  - активное сопротивление автоматического выключателя, мОм;  $R_{TT1}$  - активное сопротивление трансформатора тока, мОм;  $R_{av2}$  - активное сопротивление автоматического выключателя, мОм;  $R_{TT2}$  - активное сопротивление трансформатора тока, мОм;  $R_{кл1}$  - активное сопротивление кабельной линии, мОм;  $R_{av3}$  - активное сопротивление автоматического выключателя, мОм.

$$R_{1\Sigma} = 21,875 + 0,4 + 0,2 + 0,4 + 0,11 + 2,925 + 0,4 = 26,31 \text{ мОм.}$$

$$X_{1\Sigma} = X_c + X_{T1} + X_{av1} + X_{TT1} + X_{av2} + X_{TT2} + X_{кл1} + X_{av3}, \quad (7.7)$$

где  $X_c$  - индуктивное сопротивление системы, мОм;  $X_{T1}$  - индуктивное сопротивление силового трансформатора, мОм;  $X_{av1}$  - индуктивное сопротивление автоматического выключателя, мОм;  $X_{TT1}$  - индуктивное

сопротивление трансформатора тока, мОм;  $X_{ав2}$  - индуктивное сопротивление автоматического выключателя, мОм;  $X_{ТТ2}$  - индуктивное сопротивление трансформатора тока, мОм;  $X_{кл1}$  - индуктивное сопротивление кабельной линии, мОм;  $X_{ав3}$  - индуктивное сопротивление автоматического выключателя, мОм.

$$X_{1\Sigma} = 1,6 + 39,325 + 0,5 + 0,3 + 0,5 + 0,17 + 1,215 + 0,5 = 44,11 \text{ мОм.}$$

Произведём расчёт полного суммарного сопротивления по формуле:

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}, \quad (7.8)$$

где  $R_{1\Sigma}$  - суммарное активное сопротивление, мОм;  $X_{1\Sigma}$  - суммарное индуктивное сопротивление, мОм.

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{26,31 + 44,11} = 51,36 \text{ мОм.}$$

Рассчитаем начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания по формуле:

$$I_{n0} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma}}, \quad (7.9)$$

где  $U_{нн}$  - напряжение на стороне НН, В;  $Z_{1\Sigma}$  - полное суммарное сопротивление, мОм.

$$I_{n0\max} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 51,36} = 4,5 \text{ кА.}$$

Определим значение ударного коэффициента  $K_{y\delta}$  из соотношения:

$$\frac{X_{1\Sigma}}{R_{1\Sigma}}, \quad (7.10)$$

где  $X_{1\Sigma}$  - суммарное индуктивное сопротивление, мОм;  $R_{1\Sigma}$  - суммарное активное сопротивление, мОм.

$$\frac{44,11}{26,31} = 1,68.$$

Данному отношению соответствует значение  $K_{y\delta} = 1,15$ .

Рассчитаем ударный ток трёхфазного короткого замыкания по формуле:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n0\max} \cdot K_{y\partial}, \quad (7.11)$$

где  $I_{n0\max}$  - начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ, кА;  $K_{y\partial}$  - ударный коэффициент.

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 4,5 \cdot 1,15 = 7,3 \text{ кА}.$$

Определим значение снижающего коэффициента  $K_c$ . При  $Z_{1\Sigma} = 51,36$  значения снижающего коэффициента равны  $K_{c1} = 0,8$ ,  $K_{c2} = 0,7$ .

Произведём расчёт дугового трёхфазного короткого замыкания по формулам:

$$I_{n0\min} = I_{n0\max} \cdot K_{c1}, \quad (7.12)$$

где  $I_{n0\max}$  - начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ, кА;  $K_{c1}$  - снижающий коэффициент для начального момента КЗ.

$$I_{n0\min} = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ кА}.$$

$$I_{n0\min} = I_{n0\max} \cdot K_{c2}, \quad (7.13)$$

где  $I_{n0\max}$  - начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ, кА;  $K_{c2}$  - снижающий коэффициент для установившегося КЗ.

$$I_{n0\min} = 4,5 \cdot 0,7 = 3,15 \text{ кА}.$$

Аналогично рассчитаем короткое замыкание для других точек КЗ и результаты сведём в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты расчётов короткого замыкания

| Точка КЗ | $I_{n0\max}$ , кА | $i_{y\partial}$ , кА | $I_{n0\min}$ при $K_{c1}$ , кА | $I_{n0\min}$ при $K_{c2}$ , кА |
|----------|-------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| К1       | 4,5               | 7,3                  | 3,6                            | 3,15                           |
| К2       | 2,7               | 3,96                 | 2,3                            | 2                              |
| К3       | 0,6               | 0,4                  | 0,5                            | 0,46                           |

|    |      |     |      |      |
|----|------|-----|------|------|
| К4 | 0,15 | 0,1 | 0,14 | 0,13 |
|----|------|-----|------|------|

## 8 Выбор электрооборудования

Электрооборудование подразделяется на коммутационное и защитное. К коммутационным аппаратам относятся рубильники, контакторы и магнитные пускатели, а к защитным аппаратам относятся автоматические выключатели и плавкие предохранители [15, с. 170].

Автоматические выключатели предназначены для автоматического отключения электрических цепей при коротком замыкании или ненормальных режимах работы, а также для нечастого включения и отключения токов нагрузки. Отключение выключателя при КЗ и перегрузках выполняется встроенным в выключатель автоматическим устройством – расцепителем. Номинальный ток расцепителя  $I_{ном.расц}$  может отличаться от номинального тока выключателя, поскольку в выключатель могут быть встроены расцепители с меньшим номинальным током.

Выбирают выключатели из условий нормального режима: номинальное напряжение выключателя должно соответствовать номинальному напряжению сети  $U_{ном.выкл} \geq U_{ном.сети}$ ; соответствия номинального тока расцепителя расчётному току электроприёмника или группы ЭП в длительном режиме  $I_{ном.расц} \geq I_p$ . Затем намеченные к выбору выключатели проверяют по условиям стойкости к токам короткого замыкания.

Выбор автоматического выключателя будет осуществляться на примере линии ЩР8-ЭП по следующим условиям:

- 1) Защита от коротких замыканий и перегрузок:

$$I_{ном} \geq I_p, \quad (8.1)$$

где  $I_{ном}$  - номинальный ток выключателя, А;  $I_p$  - расчётный ток, А.

$$6 \geq 4,5.$$

$$I_{ном.расц} \geq I_p, \quad (8.2)$$

где  $I_{ном.расц}$  - номинальный ток расцепителя, А;  $I_p$  - расчётный ток, А.

$$6 \geq 4,5.$$

2) На отключающую способность:

$$I_{откл.сп} \geq I_{n0max}, \quad (8.3)$$

где  $I_{откл.сп}$  - номинальная отключающая способность, кА;  $I_{n0max}$  - начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ, кА.

$$4,5 \geq 4,5.$$

3) На электродинамическую стойкость:

$$I_{эл.ст} \geq i_{уд}, \quad (8.4)$$

где  $I_{эл.ст}$  - ток электродинамической стойкости, кА;  $i_{уд}$  - ударный ток трёхфазного короткого замыкания, кА.

$$10 \geq 7,3.$$

4) На термическую стойкость:

выключатель термически стойкий при всех временах отключения [16].

Выбор автоматических выключателей для других линий представлены в таблице 8.1

Таблица 8.1 – Автоматические выключатели

| Наименование ЭП                 | $I_{ном}, А$   | Наименование ЭП                  | $I_{ном}, А$   |
|---------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|
| 1                               | 2              | 3                                | 4              |
| Розетки помещений 3 и 35        | ВА47-29 1P 16А | Розетки помещений 6 и 7          | АД12 16/0,03   |
| Розетки помещений 4 и 5         | АД12 16/0,03   | Освещение помещений 2, 3, 7 и 35 | ВА47-29 1P 10А |
| Освещение помещений 1, 4, 5 и 6 | ВА47-29 1P 10А | ЯТПР – 220/12                    | ВА47-29 1P 10А |
| Вытяжные вентиляторы            | ВА47-29 1P 4А  | Розетки помещений 13 и 14        | АД12 16/0,03   |
| Розетки помещений 3, 11 и 12    | АД12 16/0,03   | Розетки помещений 5, 6, 8 и 9    | АД12 16/0,03   |
| Розетка помещения 27            | АД12 16/0,03   | Освещение помещений 1, 2 и 27    | ВА47-29 1P 10А |
| Освещение                       | ВА47-29 1P 10А | Освещение                        | ВА47-29 1P 10А |



|  |                |                      |                |
|--|----------------|----------------------|----------------|
| помещений 4, 5, 5а, 6, 8, 9, 9а, 10, 11 и 12 |                | помещений 3, 13 и 14 |                |
| Освещение помещения 7                        | ВА47-29 1Р 10А | Наружный блок        | ВА47-29 1Р 16А |

Продолжение таблицы 8.1

| 1  | 2              | 3  | 4              |
|--|----------------|--|----------------|
| Наружный блок                                    | ВА47-29 1Р 10А | Дренажные помпы                            | ВА47-29 1Р 4А  |
| Вытяжные вентиляторы                             | ВА47-29 1Р 4А  | Розетки помещений 12 и 13                  | АД12 16/0,03   |
| Розетки помещений 9 и 11                         | АД12 16/0,03   | Розетки помещений 6, 8 и 10                | АД12 16/0,03   |
| Розетки помещений 3, 4 и 5                       | АД12 16/0,03   | Освещение помещений 1, 2 и 7               | ВА47-29 1Р 10А |
| Освещение помещений 3, 4, 5, 6, 8 и 10           | ВА47-29 1Р 10А | Освещение помещений 9, 11, 12 и 13         | ВА47-29 1Р 16А |
| Наружный блок                                    | ВА47-29 1Р 16А | Наружный блок                              | ВА47-29 1Р 16А |
| Дренажные помпы                                  | ВА47-29 1Р 4А  | Вытяжные вентиляторы                       | ВА47-29 1Р 4А  |
| Уравнительная платформа                          | ВА47-29 3Р 4А  | Уравнительная платформа                    | ВА47-29 3Р 4А  |
| Ворота   | ВА47-29 1Р 6А  | Ворота                                     | ВА47-29 1Р 6А  |
| Палетоупаковщик                                  | ВА47-29 3Р 6А  | Розетки помещений 15, 15а, 16, 18, 19 и 20 | АД12 16/0,03   |
| Розетка помещения 23                             | АД12 16/0,03   | Розетка помещения 37                       | АД12 16/0,03   |
| Освещение помещений 17, 19, 20 и входов          | ВА47-29 1Р 10А | Освещение помещений 21, 22 и 23            | ВА47-29 1Р 10А |
| Освещение помещений 14, 15, 15а, 16, 18, 37 и 38 | ВА47-29 1Р 10А | Освещение                                  | ВА47-29 1Р 10А |
| Вытяжные вентиляторы                             | ВА47-29 1Р 4А  | Щит тепловентиляторов                      | ВА47-29 1Р 25А |
| Уравнительная платформа                          | ВА47-29 3Р 4А  | Уравнительная платформа                    | ВА47-29 3Р 4А  |
| Подъёмник для инвалидов                          | ВА47-29 1Р 6А  | Ворота                                     | ВА47-29 1Р 6А  |
| Ворота   | ВА47-29 1Р 6А  | Уравнительная платформа                    | ВА47-29 3Р 4А  |
| Уравнительная платформа                          | ВА47-29 3Р 4А  | Уравнительная платформа                    | ВА47-29 3Р 4А  |
| Ворота   | ВА47-29 1Р 6А  | Ворота                                     | ВА47-29 1Р 6А  |
| Ворота   | ВА47-29 1Р 6А  | Розетка помещения 36                       | АД12 16/0,03   |
| Розетка помещения 39                             | АД12 16/0,03   | Освещение помещения 39                     | ВА47-29 1Р 10А |
| Освещение помещений 8, 9 и 36                    | ВА47-29 1Р 10А | ЯТПР – 220/12                              | ВА47-29 1Р 10А |

|                           |               |                               |                |
|---------------------------|---------------|-------------------------------|----------------|
| Вытяжные вентиляторы      | ВА47-29 1Р 4А | Розетки помещений 15 и 16     | АД12 16/0,03   |
| Розетки помещений 17 и 18 | АД12 16/0,03  | Розетки помещений 20, 21 и 22 | АД12 16/0,03   |
| Розетки помещений 23 и 24 | АД12 16/0,03  | Освещение помещения 19        | ВА47-29 1Р 10А |

Продолжение таблицы 8.2

| 1                                      | 2              | 3                                      | 4              |
|--|----------------|--|----------------|
| Освещение помещений 23, 24, 25 и 26    | ВА47-29 1Р 10А | Освещение помещений 20, 21 и 22        | ВА47-29 1Р 10А |
| Освещение помещений 17 и 18            | ВА47-29 1Р 10А | Освещение помещений 15 и 16            | ВА47-29 1Р 10А |
| Наружный блок                          | ВА47-29 1Р 16А | Наружный блок                          | ВА47-29 1Р 10А |
| Наружный блок                          | ВА47-29 1Р 10А | Дренажные помпы                        | ВА47-29 1Р 14А |
| Вытяжные вентиляторы                   | ВА47-29 1Р 14А | Розетки помещений 14 и 15              | АД12 16/0,03   |
| Розетки помещений 16 и 17              | АД12 16/0,03   | Розетки помещений 19, 20 и 21          | АД12 16/0,03   |
| Розетки помещений 22 и 23              | ВА47-29 1Р 10А | Освещение помещения 18                 | ВА47-29 1Р 10А |
| Освещение помещений 22, 23, 24 и 25    | ВА47-29 1Р 10А | Освещение помещений 19, 20 и 21        | ВА47-29 1Р 10А |
| Освещение помещений 16 и 17            | ВА47-29 1Р 10А | Освещение помещений 14 и 15            | ВА47-29 1Р 10А |
| Наружный блок                          | ВА47-29 1Р 16А | Наружный блок                          | ВА47-29 1Р 16А |
| Наружный блок                          | ВА47-29 1Р 16А | Дренажные помпы                        | ВА47-29 1Р 4А  |
| Вытяжные вентиляторы                   | ВА47-29 1Р 4А  | Уравнительная платформа                | ВА47-29 3Р 4А  |
| Уравнительная платформа                | ВА47-29 3Р 4А  | Ворота                                 | ВА47-29 1Р 6А  |
| Ворота                                 | ВА47-29 1Р 6А  | Палетоупаковщик                        | ВА47-29 1Р 6А  |
| ИТП                                    | ВА47-29 3Р 16А | Розетки помещений 27, 28, 30, 31а и 32 | АД12 16/0,03   |
| Розетка помещения 24                   | АД12 16/0,03   | Розетка помещения 34                   | АД12 16/0,03   |
| Освещение помещений 27, 28, 29 и входы | ВА47-29 1Р 10А | Освещение помещений 24, 25 и 26        | ВА47-29 1Р 10А |
| Освещение помещений 30, 31, 31а и 32   | ВА47-29 1Р 10А | Освещение                              | ВА47-29 1Р 6А  |
| Вытяжные вентиляторы                   | ВА47-29 1Р 4А  | Щит тепловентиляторов                  | ВА47-29 1Р 25А |
| ЩТ2                                    | iC60N 1Р 20А   | Щит КПП1                               | iC60N 3Р 16А   |
| Щит КПП2                               | iC60N 3Р 16А   | ЩТ1                                    | iC60N 1Р 20А   |
| ЩР1                                    | iC60N 3Р 20А   | ЩР2                                    | iC60N 3Р 32А   |

|      |              |      |              |
|------|--------------|------|--------------|
| ЩР3  | iC60N 3P 32A | ЩР4  | iC60N 3P 32A |
| ЩСТ1 | iC60N 3P 16A | ЩСТ2 | iC60N 3P 20A |
| ЩР5  | iC60N 3P 20A | ЩР6  | iC60N 3P 32A |
| ЩР7  | iC60N 3P 32A | ЩР8  | iC60N 3P 32A |

Продолжение таблицы 8.2

|    |                 |     |                 |
|----|-----------------|-----|-----------------|
| 1  | 2               | 3   | 4               |
| ШВ | C120N 3P125A    | РП  | EZC250N 3P 200A |
| РП | EZC400N 1P 250A | ВРУ | EZC400N 1P 250A |

Выбор трансформатора тока произведём на примере линии ВРУ-РП.

Выбор трансформатора тока осуществляется по следующим условиям:

1) По напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети}, \quad (8.5)$$

где  $U_{ном}$  - номинальное напряжение трансформатора тока, кВ;  $U_{ном.сети}$  - номинальное напряжение сети, кВ.

$$0,66 \geq 0,4.$$

2) По току:

$$I_{ном} \geq I_p, \quad (8.6)$$

где  $I_{ном}$  - номинальный ток, А;  $I_p$  - расчётный ток, А.

$$250 \geq 189,8.$$

3) По электродинамической стойкости:

$$I_{эл.ст} \geq i_{уд}, \quad (8.7)$$

где  $I_{эл.ст}$  - ток электродинамической стойкости, кА;  $i_{уд}$  - ударный ток трёхфазного короткого замыкания, кА.

$$40 \geq 7,3.$$

Трансформатор тока выбран марки Т-0,66 250/5А [17].

Произведём выбор контакторов КМ1 и КМ2. Выбор будет осуществляться по номинальному току.

$$I_{ном.конт} \geq I_p, \quad (8.8)$$

где  $I_{ном.конт}$  - номинальный ток контактора, А;  $I_p$  - расчётный ток, А.

$$160 \geq 135.$$

Контакторы КМ1 и КМ2 выбраны марки TVS 160А

## 9 Расчёт заземления складского комплекса

Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Расчёт заземления производится для того чтобы определить контур заземления, его размеры и форму. Контур заземления состоит из вертикальных заземлителей, горизонтальных заземлителей и заземляющего проводника. Вертикальные заземлители вбиваются в землю на определённую глубину, горизонтальные заземлители соединяют вертикальные заземлители между собой, а заземляющий проводник соединяет контур заземления с электрощитом.

Размеры и количество заземлителей, расстояние между ними и удельное сопротивление грунта – все эти параметры влияют на сопротивление заземления.

Основной целью расчёта заземления является определить число заземляющих стержней и длину полосы, которая их соединяет.

Рассчитаем сопротивление растеканию электрического тока вертикального заземлителя по формуле:

$$R_0 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot L}{d_{эжв}}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot T + L}{4 \cdot T - L}\right) \right), \quad (9.1)$$

где  $\rho$  - сопротивление грунта, Ом·м;  $\pi$  - число пи;  $L$  - длина стержня, м;  $d$  - эквивалентный диаметр стержня, м;  $T$  - расстояние от поверхности земли до середины стержня, м [18, с. 55].

$$R_0 = \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot 3}{0,00475}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3}\right) \right) = 19,701 \text{ Ом.}$$

Вертикальные заземлители выполнены из угловой стали, поэтому рассчитывается эквивалентный диаметр по формуле:

$$d_{\text{экв}} = 0,95 \cdot b, \quad (9.2)$$

где  $b$  - ширина стороны уголка, м.

$$d_{\text{экв}} = 0,95 \cdot 0,005 = 0,00475 \text{ м.}$$

Рассчитаем расстояние от поверхности земли до середины стержня по формуле:

$$T = \frac{L}{2} + t, \quad (9.3)$$

где  $L$  - длина стержня, м;  $t$  - заглубление вертикального заземлителя, м.

$$T = \frac{3}{2} + 0,5 = 2 \text{ м.}$$

Рассчитаем количество уголков заземления без учёта сопротивления горизонтального заземлителя по формуле:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{R_{\text{норм}}}, \quad (9.4)$$

где  $R_0$  - сопротивление растеканию электрического тока одного вертикального заземлителя, Ом;  $\psi$  - сезонный климатический коэффициент;  $R_{\text{норм}}$  - нормируемое сопротивление заземляющегося устройства, Ом.

$$n_0 = \frac{19,701 \cdot 1,7}{4} = 8,4.$$

Рассчитаем сопротивление растеканию электрического тока для горизонтального заземлителя по формуле:

$$R_{\text{горизонт}} = 0,366 \cdot \left( \frac{\rho \cdot \psi}{l \cdot \eta_{\text{горизонт}}} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} \right), \quad (9.5)$$

где  $\rho$  - сопротивление грунта, Ом·м;  $\psi$  - сезонный климатический коэффициент;  $l$  - длина горизонтального заземлителя, м;  $b$  - ширина горизонтального заземлителя, м;  $\eta_{\text{горизонт}}$  - коэффициент спроса горизонтальных заземлителей;  $t$  - заглубление вертикального заземлителя, м.

$$R_{горизонт} = 0,366 \cdot \left(\frac{50 \cdot 4}{3 \cdot 0,36}\right) \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot 3^2}{0,025 \cdot 0,5}\right) = 214,248 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем сопротивление вертикального заземлителя с учётом сопротивления растеканию тока горизонтального заземлителя по формуле:

$$R_{верт} = \frac{R_{горизонт} \cdot R_{норм}}{(R_{горизонт} - R_{норм})}, \quad (9.6)$$

где  $R_{горизонт}$  - сопротивление растеканию электрического тока для горизонтального заземлителя, Ом;  $R_{норм}$  - нормируемое сопротивление заземляющегося устройства, Ом.

$$R_{верт} = \frac{214,248 \cdot 4}{(214,248 - 4)} = 4 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем полное количество вертикальных заземлителей по формуле:

$$n_0 = \frac{R_0}{R_{верт} \cdot \eta_{верт}}, \quad (9.10)$$

где  $R_0$  - сопротивление растеканию электрического тока одного вертикального заземлителя, Ом;  $R_{верт}$  - сопротивление вертикального заземлителя с учётом сопротивления растеканию тока горизонтального заземлителя, Ом;  $\eta_{верт}$  - коэффициент спроса вертикальных заземлителей.

$$n_0 = \frac{19,701}{4,1 \cdot 0,55} = 8,74.$$

Наружный контур заземления выполняется вертикальными заземлителями из угловой стали 50x50x5 мм длиной 3 м, которые соединяются между собой полосовой сталью 25x4 мм проложенной на глубине 0,5 м от поверхности земли. Все соединения выполняются сваркой.

## 10 Молниезащита складского комплекса

Молниезащита складского комплекса выполнена в соответствии с СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» [19]. Категория молниезащиты складского комплекса – III. Молниезащита выполняется путём установки молниеприёмной сетки на кровле, при помощи пластиковых держателей. В качестве токоотвода используется круглая сталь диаметром 8 мм, которая внизу соединяется с наружным контуром заземления. Заземлитель защиты от прямых ударов молнии объединяется с заземлителем электроустановок. К заземлителю защиты от прямых ударов молнии присоединяются находящиеся внутри здания металлические конструкции, оборудование и воздухопроводы. Все металлические нетокопроводящие части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции, подлежат заземлению и соединению с заземляющей шиной вводного щита, нулевой защитной жилой кабеля «РЕ» [20, с. 60].

Рассчитаем плотность ударов молнии в землю, которая выражается через число поражений  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности за год, определяемая по данным метеорологических наблюдений в месте размещения складского комплекса по формуле:

$$N_g = \frac{6,7 \cdot T_d}{100}, \quad (10.1)$$

где  $T_d$  - среднегодовая продолжительность гроз в часах, определённая по региональным картам интенсивности грозовой деятельности для московской области, ч.

$$N_g = \frac{6,7 \cdot 40}{100} = 2,68 \frac{1}{(\text{км}^2 \cdot \text{год})}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе был спроектирован складской комплекс Подольского района Московской области. Произведён расчёт электрических нагрузок: суммарная активная мощность составляет 108,38 кВт; суммарная реактивная мощность составляет 54,4 квар, и суммарная полная мощность составляет 121,3 кВА без учёта электрического освещения.

Далее был произведён расчёт электрического освещения складской зоны и зоны погрузки и разгрузки товара. По результатам расчётов были приняты к установке светодиодные светильники производителя «Varton». Нагрузка с учётом электрического освещения составляет:  $P_p = 114,1$  кВт;  $Q_p = 50,91$  квар;  $S_p = 124,92$  кВА.

Рассмотрены два варианта трансформаторов ТМГ – 160/10(6) и ТМГ – 250/10(6) и было произведено их технико-экономическое сравнение, по результатам которого принята к установке КТП – ТВ 160/10(6)/0,4 с трансформатором ТМГ – 160/10(6).

Учитывая характеристики электроприёмников и их расположение по территории комплекса, была выбрана радиальная схема электроснабжения так как питание потребителей осуществляется от отдельных распределительных пунктов с применением кабелей.

Определены значения номинальных токов и токов короткого замыкания с учётом которых было выбрано электрооборудование: автоматические выключатели, трансформаторы тока, контакторы и кабельные линии.

Также была спроектирована система заземления и молниезащиты.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения: электронное учеб. -метод. пособие. 1 оптический диск. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. 78 с.
2. Dale R. Patrick, Stephen W. Fardo. Electrical distribution systems. Second edition, The Fairmont Press, 2015. p. 475.
3. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Системы электроснабжения: электронное учеб. -метод. пособие. 1 оптический диск. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 46 с.
4. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* [Электронный ресурс]: Свод правил от 08.05.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 15.04.2018).
5. Вахнина В. В. [и др.]. Проектирование осветительных установок: электронное учеб. пособие. 1 оптический диск. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 107 с.
6. Каталог светотехнического оборудования производителя Varton. [Электронный ресурс]: URL: <http://varton.ru> (дата обращения 20.04.2018)
7. Alan L. Sheldrake. Handbook of electrical engineering: for practitioners in the oil, gas and petrolchemical industry. 2014 John Wiley & Sons, Ltd ISBN: 0-471-49631-6. p. 631.
8. Рожин А. Н., Бакшаева Н. С. Внутрицеховое электроснабжение: учеб. пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров: Изд-во ВятГУ, 2016. 260 с.

9. Синенко Л. С., Сизганова Е. Ю., Попов Ю. П. Электроснабжение: учеб. пособие к практ. занятиям. 1 оптический диск. Красноярск: ИПК СФУ, 2015. 146 с.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Электронный ресурс]: URL: <http://pue7.ru/pue7/sod.php> (дата обращения 26.04.2018).
11. C. L. Wadhwa. Electrical Power Systems. New age international (P) Ltd., publishers, 2014. p. 879.
12. P. S. R. Murty. Electrical Power Systems. BSP books Pvt. Ltd. Published by Elsevier Ltd., 2017. p. 811.
13. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004630> (дата обращения 29.04.2018).
14. Н. Ю. Шевченко, К. Н. Бахтиаров. Проектирование системы электроснабжения цеха: учеб. пособие по выполнению курсового проекта. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2015. 104 с.
15. В. М. Weedy. Electric power systems. John Wiley & Sons, 2015. p. 750.
16. Группа компаний ИЕК [Электронный ресурс]: URL: <http://www.iek.ru> (дата обращения 01.05.2018).
17. Каталог оборудования Электрощит Самара [Электронный ресурс]: URL: <https://electroshield.ru/catalog/> (дата обращения 03.05.2018).
18. Басманов В. Г. Заземление и молниезащита: учеб. пособие для вузов в двух частях. Часть 1 – Заземление. Киров: Изд-во ВятГУ, 2014. 155 с.
19. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034368> (дата обращения 10.05.2018).
20. Басманов В. Г. Заземление и молниезащита: учеб. пособие для вузов в двух частях. Часть 2 – Молниезащита. Киров: Изд-во ВятГУ, 2014. 215 с.

