

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

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование)

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

Электроснабжение  
(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения предприятия по производству пищевых продуктов

Обучающийся

С.Г. Минников  
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Л. Спиридонов

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

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Егорова

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

Тольятти 2024

## Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе на тему «Проектирование системы электроснабжения предприятия по производству пищевых продуктов» рассматривается разработка решений по созданию надёжной и энергоэффективной системы электроснабжения предприятия по производству пищевых продуктов.

Объектом исследования в представленной работе является завод по глубокой переработке пшеницы для производства аминокислот.

Предметом исследования – система электроснабжения предприятия по производству пищевых продуктов.

Целью работы заключается в разработке решений по созданию надёжной и энергоэффективной системы электроснабжения предприятия по производству пищевых продуктов.

Таким образом, при выполнении выпускной квалификационной работы будут решены следующие задачи:

- сбор общих сведений об объекте исследования;
- обоснование схемы электроснабжения;
- расчёт актуальной нагрузки производства;
- выбор силовых трансформаторов подстанции;
- выбор линий электроснабжения;
- выбор оборудования системы электроснабжения.

В результате выполнения работы проведены расчёты низковольтных и высоковольтных линий, выбраны трансформаторы, рассчитаны электрические нагрузки, потери напряжений в линиях, выбраны сечения кабелей.

Данная работа изложена на 69 листах, графическая часть имеет 6 чертежей, формата А1, список используемых источников и используемой литературы включает в себя 34 наименования.

## ABSTRACT

The title of the graduation work is « Designing the power supply system of a food production enterprise».

The senior paper consists of an introduction, eight parts, a conclusion, tables, list of references including foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the thesis is the creation of an energy-efficient and reliable power supply system for a food production enterprise, through the selection of modern electrical equipment for the entire complex of the enterprise's power supply system (from source to power receiver). We touch upon the problem of choosing the number of sources of electricity and power, as well as power supply voltage class.

The aim of the work is to give some information about the development of design and survey works to provide the design of a power supply system for a food production enterprise.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: analysis of electrical receivers of the enterprise; selection of electrical equipment of the power source; selection of electrical equipment for the power supply system; technological and design solutions; compliance of technical solutions with the requirements of regulatory documents.

Finally, we present the work on the successful development of design and survey work to create a reliable and energy-efficient power supply system for a food production plant.

In conclusion we'd like to stress this work is relevant in solving the problem of the designing the power supply system of the enterprise under study, but also similar technological and design solutions can be applied to other industrial enterprises in the Russian Federation.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 6  |
| 1 Краткая характеристика объекта электроснабжения предприятия .....                          | 7  |
| 1.1 Геологическая и климатическая характеристика местности<br>расположение предприятия ..... | 7  |
| 1.2 Характеристика направления деятельности предприятия .....                                | 8  |
| 1.3 Краткая характеристика технологического цикла предприятия .....                          | 9  |
| 1.4.... Технические характеристика производственных зданий и сооружений<br>.....             | 10 |
| 2 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок.....   | 12 |
| 2.1 Электрическая мощность, потребляемая заводским оборудованием ....                        | 12 |
| 2.2 Потребление электроэнергии для освещения производственных<br>помещений.....              | 18 |
| 2.3 Картограмма электрических нагрузок и размещение центра питания ..                        | 20 |
| 3 Расчёт числа и установленной мощности трансформаторов на подстанции<br>.....               | 22 |
| 3.1 Выбор трансформаторов на в цеховых ТП .....  | 22 |
| 3.2 Расчёт и выбор компенсирующего устройства .....  | 27 |
| 3.3 Выбор трансформаторов в центре питания .....   | 32 |
| 4 Электрическая схема электроснабжения.....  | 35 |
| 4.1 Выбор и обоснование схемы ГПП .....  | 35 |
| 4.2 Выбор и обоснование схемы цеховых ТП .....   | 38 |
| 4.3 Выбор распределительных шин и проводников.....   | 40 |
| 4.4 Выбор автоматических выключателей.....   | 42 |
| 5 Расчёт значений токов коротких замыканий.....  | 43 |
| 5.1 Значения ТКЗ на ГПП .....  | 43 |
| 5.2 Значения ТКЗ на стороне 0,4 кВ .....   | 44 |
| 5.3 Токи короткого замыкания в точке К1 .....  | 46 |
| 5.4 Токи короткого замыкания в точке К2 .....  | 47 |

|  |    |
|--|----|
| 5.5 Токи короткого замыкания в точке КЗ .....  | 47 |
| 5.6 Проверка коммутационного оборудования по результатам расчётов<br>токов короткого замыкания ..... | 48 |
| 6 Выбор оборудования ПС 110 кВ .....   | 50 |
| 7 Релейная защита трансформаторов ТМГ-2500/10/0,4.....   | 57 |
| 8 Расчёт заземления зданий и сооружений объекта .....  | 59 |
| 9 Молниезащита производственного здания.....   | 61 |
| Заключение .....   | 64 |
| Список используемой литературы .....   | 66 |

## Введение

Электрическая энергия для снабжения промышленного предприятия передаётся от главной понижающей подстанции (ГПП), классом напряжения 220(35) кВ/10 кВ с дальнейшей её передачей в трансформаторные подстанции предприятия или цехов для понижения напряжения до уровня 400 В с целью дальнейшей её передачи электроприемникам (ЭП).

Проектирование системы электроснабжения (СЭС) предприятия является комплексной задачей, позволяющей расчётами электрических нагрузок, выбором компенсирующих устройств и устройств защиты, выбором источника питания и оборудования системы электроснабжения обеспечить нормальные условия функционирования предприятия и его развитие за счёт обеспечения качественной электрической энергией всех ЭП в том числе перспективных [2].

Российская пищевая промышленность на сегодняшний день является одним из наиболее активно развивающихся секторов экономики страны. В связи с этим своевременное обеспечение предприятий по производству пищевых продуктов качественной электрической энергией и возможности быстрого подключения новых энергопринимающих устройств к электрическим сетям является актуальной задачей.

Цель работы – создание энергоэффективной и надежной системы электроснабжения предприятия по производству пищевых продуктов, за счёт выбора современного электрооборудования СЭС предприятия.

Задачи выпускной квалифицированной работы: «составить схему электроснабжения; рассчитать электрические нагрузки электроприемников (ЭП); выбрать компенсирующие устройства (КУ) и трансформаторы; выбрать источник питания; выбрать электрооборудования СЭС, выполнить расчёты токов короткого замыкания (КЗ) и параметрирование микропроцессорных устройств РЗА, устанавливаемых на питающей ГПП» [6].

## **1 Краткая характеристика объекта электроснабжения предприятия**

### **1.1 Геологическая и климатическая характеристика местности расположение предприятия**

Предприятие расположено в Саратовской области в зоне умеренно континентального климата. Средняя годовая температура воздуха 5 °С. За год выпадает около 500 – 600 мм осадков, две трети которых выпадает в виде дождя. Среднегодовая скорость ветра составляет 3 – 4 м/с.

Зима в Саратовской области продолжается с начала ноября до конца марта в среднем 120 дней со среднемесячной температурой от минус 4 °С до минус 10 °С. Абсолютные минимальные температуры воздуха достигает минус 40°С и с максимума до 6 °С. Снежный покров лежит от 150 до 160 дней с высотой до 75 см. Среднемесячные скорости ветра составляет 3,5 – 4,5 м/с.

Весна в области короткая с среднемесячной температурой воздуха 9 °С. Сход снежного покрова происходит в апреле. Количество осадков составляет 80 мм. Средняя скорость ветра 3 – 4 м/с.

Лето продолжительное, начинается с начала мая с продолжительностью 90 – 120 дней со среднемесячной температурой +22 °С. Максимальная дневная температура повышается до плюс 35 °С, а иногда до плюс 40 °С. Наибольшее количество осадков, 80 мм приходится на июль. Средние месячные скорость ветра составляют 2,7 м/с.

Осень начинается с заморозков после перехода среднесуточной температуры воздуха через 15 °С в сторону понижения в конце августа. Средняя месячная температура составляет 10 °С. Безморозный период длится в среднем 120 дней. В целом за осенний сезон выпадает 130 мм осадков. Среднемесячная скорости ветра составляют 3 – 4 м/с. Вегетационный период – продолжительностью 160 – 180 дней.

Расчётные климатические и геологические условия района расположения предприятия указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Расчётные климатические и геологические условия района

| Наименование                                     | Значение     |
|--|--------------|
| $T_{\text{макс}}$ воздуха $^{\circ}\text{C}$     | (+39)        |
| $T_{\text{мин}}$ воздуха $^{\circ}\text{C}$      | (-40)        |
| $T_{\text{ср}}$ воздуха $^{\circ}\text{C}$       | (+4)         |
| Относительная влажность воздуха %                | 80,0         |
| Продолжительность зимнего периода, $N_z$ , суток | 200          |
| Продолжительность летнего периода, $N_l$ , суток | 165          |
| Степень загрязнения изоляции оборудования        | I            |
| Район по ветру                                   | III (650 Па) |
| Район по гололёду                                | III (20 мм)  |
| Средняя скорость ветра, м/с                      | 4,0          |
| Район по грозовой деятельности, час              | от 10 до 20  |
| Район по пляске проводов                         | III          |
| Грунт  | Песчаный     |

## 1.2 Характеристика направления деятельности предприятия

Предприятие по производству пищевых продуктов является российским самостоятельным предприятием по производству аминокислот и биоэтанола с полным производственным циклом от изготовления продукции до её продажи конечному потребителю.

Основным направлением деятельности предприятия является производство аминокислот. Ежемесячный выпуск продукции составляет от 30 000 тон, которые широко используются для производства пищевых добавок.

На сегодняшний день предприятие является современным и динамично развивающимся предприятием, одним из приоритетных направлений является повышенное внимание к качеству выпускаемой продукции, которая проходит 100% выходной контроль качества.

предприятие включает в себя несколько основных цехов

- главный производственный корпус (производство аминокислот)
- цех сушки клейковины;
- линия производства товарного лизина;
- отделение производства кормовой добавки;



- цех сухого помола;
- цех выделения крахмала и клейковины;
- цех осахаривание крахмала;
- ферментация и очистка лизина;
- инженерный корпус;
- зерно-очистительные цеха № 1 и № 2;
- 3-и вспомогательных участка: энерго-механический, транспортный, хозяйственно-строительный, а также складское хозяйство, цеха отгрузки и загрузки сырья.

Предприятие рассчитано на 240 человек.

### **1.3 Краткая характеристика технологического цикла предприятия**

Серийное производство аминокислот – процесс, который включает в себя производственные циклы с контролем каждой операции для выдерживания высокого конечного качества продукции за которое несёт ответственность компания.

Производство аминокислот состоит из этапов производства и включает в себя:

1. Этап закупка сырья (зерновые культуры), включая входной контроль зерна, временное складирование и плановое пополнение запасов сырья.
2. Этап переработки сырья.
3. Ферментация.
4. Ректификация.
5. Очищение готовой продукции.
6. Маркировка готовой продукции.
7. Консервация готовой продукции и её складирование.

На всех этапах производства ведётся контроль ОТК на соответствие чертежам и стандартам, контроль качества и соответствия поступающего сырья.

## 1.4 Технические характеристика производственных зданий и сооружений

Предприятие состоит из группы технологических и административных зданий общей площадью 16 000 м<sup>2</sup>.

Технические характеристики зданий и помещений указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики производственных зданий

| Наименование здания и сооружения   | S помещения, м <sup>2</sup> |           | Высота помещения, м |           |
|--|-----------------------------|-----------|---------------------|-----------|
|  | техническое                 | админ-ное | техническое         | админ-ное |
| Главный производственный корпус (производство аминокислот), в том числе:           | 22680                       | 1080      | 12                  | 3         |
| Сушка клейковины   | 1548                        | 180       | 12                  | 3         |
| Линия производства товарного лизина  | 1548                        | 180       | 12                  | 3         |
| Отделение производства кормовой добавки  | 2412                        | 180       | 12                  | 3         |
| Сухой помол  | 1404                        | 180       | 12                  | 3         |
| Выделение крахмала и клейковины  | 1800                        | 180       | 12                  | 3         |
| Осахаривание крахмала  | 3384                        | 180       | 12                  | 3         |
| Ферментация и очистка лизина   | 2592                        | 180       | 12                  | 3         |
| Инженерный корпус  | -                           | 1188      | -                   | 3         |
| зерно-очистительный цех № 1  | 1440                        | 288       | 12                  | 3         |
| зерно-очистительный цех № 2  | 1360                        | 320       | 10                  | 3         |
| Хозяйственно-строительный корпус   | 400                         | 36        | 8                   | 3,5       |
| Корпус упаковки и складирования готовой продукции с ремонтно-механическим участком | 21600                       | 80        | 12                  | 3         |
| Гараж  | 840                         | 80        | 6                   | 3         |

Все производственные помещения должны иметь электрическое освещение, соответствующее требованиям санитарных норм [26].

Выводы к разделу 1.

Приведена краткая характеристика района расположения предприятия по производству пищевых продуктов. Собраны сведения о специфике производства, занимаемой площади цехов и административных, технологических помещений. Приведён состав цехов завода, обозначена категории надёжности электроснабжения.

В дальнейшем указанные данные будут применены для проектирования схемы внешнего электроснабжения и внутривозводской системы электроснабжения рассматриваемого предприятия, выбора электрооборудования системы электроснабжения предприятия, а также для расчета заземления и системы защиты от прямых попаданий молний.

## 2 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок

### 2.1 Электрическая мощность, потребляемая заводским оборудованием

При расчёте потребляемой мощности электропотребления оборудованием примем проектную мощность производственных участков предприятия, которая включает в себя расчёт мощности равной номинальной паспортной мощности каждого электропотребителя (ЭП).

Полная мощность, потребляемая из сети (ЭП), определяется с учётом реактивной мощности [4].

Для единичного электроприёмника потребляемая мощность рассчитывается согласно выражениям (1), (2), (3) [15].

$$P_p = P_n \quad (1)$$

$$Q_p = P_n \times \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (2)$$

$$S_p = \frac{P_p + Q_p}{\cos \varphi_n} = \frac{P_n}{\cos \varphi_n}. \quad (3)$$

где  $P_n$  – номинальная активная мощность единичного электроприёмника;

$\cos \varphi_n$  – номинальный коэффициент мощности единичного электроприёмника;

$P_p$ ,  $Q_p$ ,  $S_p$  – активная, реактивная и полная номинальные расчётные мощности единичного электроприёмника.

Электрическую мощность, потребляемую электропотребителем, рассчитывается с учётом потерь электроэнергии [15]. Потери электроэнергии происходят в электродвигателях, который определяется как КПД двигателя и определяем, как:

$$P_d = \frac{P_p}{\eta} \quad (4)$$

где  $\eta$  – КПД двигателя указан в справочной литературе или технической литературе на данное электрооборудование.

Также в расчётах учитываются потери электроэнергии в питающих кабельных линиях или шинопроводах, которые зависят от активного сопротивления проводника и рассчитываем согласно выражению (5) [10].

$$P_k = \rho \times l, \quad (5)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление кабеля;

$l$  – длина кабеля.

При точном расчёте энергопотребления учитывается коэффициент использования оборудования. С целью оценочного расчёта электрической нагрузки завода принимаем расчётный коэффициент использования равный 1, и считаем, что всё оборудование работает в номинальном режиме [11].

При расчётах примем допущения:

- средний коэффициент мощности  $\cos\varphi_n = 0,8$ ;
- средний КПД электроприёмников  $\eta = 0,96$ ;

В качестве примера проведем расчет для единичного участка предприятия.

Номинальную (паспортную) активную мощность основных электроприёмников участка предприятия, для дальнейших расчётов заносим в таблицу 3.

В таблице 3 представлены следующие величины:  $P$  – активная мощность электроприёмника;  $n$  – количество электроприёмников;  $P_\Sigma$  – суммарная активная нагрузка группы электроприёмников;  $P_{\text{потр}}$  – потребляемая из сети активная мощность электроприёмника.

Таблица 3 – Паспортные данные потребления энергии оборудованием производственного участка предприятия

| Наименование электрооборудования     | п, шт | P, кВт | P <sub>Σ</sub> , кВт | КПД  | P <sub>потр</sub> , кВт |
|--------------------------------------|-------|--------|----------------------|------|-------------------------|
| Насосная установка                   | 2     | 30     | 60                   | 0,9  | 66,7                    |
| Система очистки от углекислого газа  | 3     | 32     | 96                   | 0,8  | 120,0                   |
| Установка хим.подготовки             | 3     | 48     | 144                  | 0,8  | 180,0                   |
| Компрессорная                        | 4     | 40     | 160                  | 0,8  | 200,0                   |
| Зерносушилка                         | 2     | 5      | 10                   | 0,85 | 11,8                    |
| Система биоочистки                   | 2     | 16,2   | 32,4                 | 0,85 | 38,1                    |
| Производственное оборудование        | 2     | 8      | 16                   | 0,85 | 18,8                    |
| Установка ферментации и ректификации | 6     | 25     | 150                  | 0,85 | 176,5                   |
| Система очистки сточных вод          | 4     | 17     | 68                   | 0,85 | 80,0                    |
| Фасовочная установка                 | 2     | 8      | 16                   | 0,8  | 20,0                    |
| Упаковка                             | 2     | 4,5    | 9                    | 0,9  | 10,0                    |
| Чиллирная                            | 4     | 10     | 40                   | 0,8  | 50,0                    |
| Итого                                |       |        | 801,4                |      | 971,8                   |

Определяем реактивную и полную мощности электроприёмников согласно выражению (7) [1].

Реактивную мощность вычислим по формуле (6).

Все полученные значения расчётных значений заносим в таблицу 5.

$$Q_i = P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i = P_i \cdot \frac{\sqrt{1 - (\cos \varphi_i)^2}}{\cos \varphi_i} \quad (6)$$

$$S_i = \frac{P_i}{\cos \varphi_i} \quad (7)$$

Коэффициент потребляемой мощности зависит от коэффициента использования  $K_{и}$ , этот параметр включаем в таблицу 4, согласно которому определим среднюю потребляемую мощность за рабочую смену.

Таблица 4 - Реактивная, полная, мощность электроприёмников в рабочей смене

| Наименование электрооборудования     | $P_{\text{ипотр.}}$<br>кВт | $K_{\text{и}}$ | $\cos\varphi_i$ | $Q_i$ ,<br>кВАр | $S_i$ ,<br>кВА | $P_{\text{и см.}}$<br>кВт | $Q_{\text{и см.}}$<br>кВАр |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------------------|----------------------------|
| Насосная установка                   | 66,7                       | 0,75           | 0,95            | 21,9            | 70,2           | 50,0                      | 16,4                       |
| Система очистки от углекислого газа  | 120,0                      | 0,7            | 0,8             | 90,0            | 150,0          | 84,0                      | 63,0                       |
| Установка хим.подготовки             | 180,0                      | 0,6            | 0,8             | 135,0           | 225,0          | 108,0                     | 81,0                       |
| Компрессорная                        | 200,0                      | 0,6            | 0,7             | 204,0           | 285,7          | 120,0                     | 122,4                      |
| Зерносушилка                         | 11,8                       | 0,6            | 0,7             | 12,0            | 16,8           | 7,1                       | 7,2                        |
| Система биоочистки                   | 38,1                       | 0,6            | 0,7             | 38,9            | 54,5           | 22,9                      | 23,3                       |
| Производственное оборудование        | 18,8                       | 0,6            | 0,7             | 19,2            | 26,9           | 11,3                      | 11,5                       |
| Установка ферментации и ректификации | 176,5                      | 0,6            | 0,7             | 180,0           | 252,1          | 105,9                     | 108,0                      |
| Система очистки сточных вод          | 80,0                       | 0,6            | 0,7             | 81,6            | 114,3          | 48,0                      | 49,0                       |
| Фасовочная установка                 | 20,0                       | 0,1            | 0,5             | 34,6            | 40,0           | 2,0                       | 3,5                        |
| Упаковка                             | 10,0                       | 0,4            | 0,9             | 4,8             | 11,1           | 4,0                       | 1,9                        |
| Чиллирная                            | 50,0                       | 0,7            | 0,8             | 37,5            | 62,5           | 35,0                      | 26,3                       |
| Итого                                | 971,8                      |                |                 | 859,7           | 1309,0         | 598,1                     | 513,6                      |

Потери электроэнергии в питающих кабельных линиях не должны превышать 5%, с учётом этого условия максимальную активную потребляемую мощность электроприёмника определяем по выражению (8).

$$S_{\text{д}} = \frac{S}{0,95} = \frac{1309}{0,95} = 1377 \text{ кВт.} \quad (8)$$

Потребляемую мощность для остальных производственных участков рассчитываем аналогичным методом и полученные расчётные данные заносим в таблицу 5.

Для административных помещений расчётную нагрузку рассчитываем на основании укрупнённой удельной нагрузки, взятой из справочной литературы, где  $P_{\text{общ.у.}}$  принимаем как  $0,054 \text{ кВт/м}^2$ , с  $\cos\varphi - 0,87$  [14].

Таблица 5 – Расчётная потребляемая мощность производственных участков

| Наименование   | Р <sub>ном.</sub><br>кВт | cos φ | tg φ | P <sub>i см.</sub><br>кВт | Q <sub>i см.</sub><br>кВАр | S <sub>i см.</sub><br>кВА |
|--|--------------------------|-------|------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1  | 2                        | 3     | 4    | 5                         | 6                          | 7                         |
| АБК с зерновой лабораторией и автовесовыми   | 1750                     | 0,9   | 0,48 | 875,0                     | 420,0                      | 970,6                     |
| Корпус упаковки и складирования готовой продукции с ремонтно-механическим участком | 1860                     | 0,8   | 0,75 | 1488,0                    | 1116,0                     | 1860,0                    |
| Главный производственный корпус  | 2760                     | 0,75  | 0,88 | 1656,0                    | 1457,3                     | 2205,9                    |
| Зернохранилище   | 400                      | 0,8   | 0,75 | 280,0                     | 210,0                      | 350,0                     |
| Зерноприемный пункт авто и жд транспорта   | 190                      | 0,8   | 0,75 | 114,0                     | 85,5                       | 142,5                     |
| Бункера отгрузки зерноотходов  | 860                      | 0,75  | 0,88 | 559,0                     | 491,9                      | 744,6                     |
| Зерноочистительный пункт   | 840                      | 0,8   | 0,75 | 588,0                     | 441,0                      | 735,0                     |
| Зерносушильный пункт с буферными силосами зерна №1                                 | 286                      | 0,8   | 0,75 | 243,1                     | 182,3                      | 303,9                     |
| Зерносушильный пункт с буферными силосами зерна №2                                 | 286                      | 0,8   | 0,75 | 243,1                     | 182,3                      | 303,9                     |
| Зернотранспортная галерея  | 756                      | 0,8   | 0,75 | 453,6                     | 340,2                      | 567,0                     |
| Операторская. Электрощитовая   | 275                      | 0,9   | 0,48 | 233,8                     | 112,2                      | 259,3                     |
| Трансформаторная подстанция №1   | 300                      | 0,85  | 0,62 | 210,0                     | 157,5                      | 262,5                     |
| ГРПШ зернового склада  | 286                      | 0,8   | 0,75 | 228,8                     | 171,6                      | 286,0                     |
| Отделение ферментации биоэтанола   | 286                      | 0,8   | 0,75 | 228,8                     | 171,6                      | 286,0                     |
| Отделение ректификации биоэтанола  | 320                      | 0,8   | 0,75 | 192,0                     | 119,0                      | 225,9                     |
| Участок утилизации углекислого газа  | 680                      | 0,85  | 0,62 | 408,0                     | 195,8                      | 452,6                     |
| Расходный склад химпрепаратов  | 1127                     | 0,9   | 0,48 | 1014,3                    | 760,7                      | 1267,9                    |
| Компрессорная  | 1100                     | 0,8   | 0,75 | 880,0                     | 660,0                      | 1100,0                    |
| Чиллерная  | 2760                     | 0,8   | 0,75 | 1656,0                    | 1457,3                     | 2205,9                    |
| Градирия с насосной установкой   | 2520                     | 0,8   | 0,75 | 2016,0                    | 1512,0                     | 2520,0                    |
| Станция водоподготовки   | 832                      | 0,85  | 0,62 | 624,0                     | 386,9                      | 734,2                     |
| Насосная станция водоснабжения с резервуарами запаса воды                          | 1280                     | 0,85  | 0,62 | 960,0                     | 595,2                      | 1129,5                    |



Продолжение таблицы 5

| 1  | 2    | 3    | 4    | 5      | 6     | 7      |
|--|------|------|------|--------|-------|--------|
| Котельная  | 1250 | 0,8  | 0,75 | 1000,0 | 750,0 | 1250,0 |
| Подающая насосная станция с аварийным резервуаром                | 1560 | 0,8  | 0,75 | 1092,0 | 819,0 | 1365,0 |
| Первичный осветлитель  | 654  | 0,9  | 0,48 | 654,0  | 313,9 | 725,4  |
| Корпус биологической очистки промышленных и хозяйственных стоков | 470  | 0,8  | 0,75 | 399,5  | 299,6 | 499,4  |
| Вторичный осветлитель  | 268  | 0,9  | 0,48 | 268,0  | 128,6 | 297,3  |
| Корпус фильтрации стоков   | 476  | 0,8  | 0,75 | 404,6  | 303,5 | 505,8  |
| Очистные сооружения ливневых стоков                              | 350  | 0,8  | 0,75 | 175,0  | 131,3 | 218,8  |
| КНС очищенных стоков   | 296  | 0,8  | 0,75 | 207,2  | 155,4 | 259,0  |
| Участок слива и хранения кислот                                  | 484  | 0,8  | 0,75 | 314,6  | 236,0 | 393,3  |
| Пункт слива ж.д. цистерн   | 340  | 0,8  | 0,75 | 204,0  | 153,0 | 255,0  |
| Пункт слива авто цистерн   | 320  | 0,8  | 0,75 | 192,0  | 144,0 | 240,0  |
| Пост охраны с санузелом  | 28   | 0,9  | 0,48 | 19,6   | 9,4   | 21,7   |
| Склад аммиака с насосной   | 670  | 0,8  | 0,75 | 268,0  | 201,0 | 335,0  |
| Пункт слива ж.д. цистерн   | 340  | 0,8  | 0,75 | 204,0  | 153,0 | 255,0  |
| Пункт слива автоцистерн  | 520  | 0,8  | 0,75 | 312,0  | 234,0 | 390,0  |
| Помещение персонала  | 54   | 0,9  | 0,48 | 45,9   | 22,0  | 50,9   |
| Резервуарный парк биоэтанола                                     | 184  | 0,8  | 0,75 | 73,6   | 55,2  | 92,0   |
| Отделение узла учета биоэтанола                                  | 132  | 0,9  | 0,48 | 52,8   | 25,3  | 58,6   |
| Пункт налива биоэтанола на автотранспорт                         | 360  | 0,8  | 0,75 | 216,0  | 162,0 | 270,0  |
| Пункт налива биоэтанола на ж.д. транспорт                        | 356  | 0,8  | 0,75 | 213,6  | 160,2 | 267,0  |
| Пост охраны  | 18   | 0,9  | 0,48 | 15,3   | 7,3   | 17,0   |
| Закрытое распределительное устройство 10 кВ                      | 42   | 0,85 | 0,62 | 21,0   | 13,0  | 24,7   |
| Открытое распределительное устройство                            | 54   | 0,85 | 0,62 | 27,0   | 16,7  | 31,8   |
| Автотранспортный цех с КПП                                       | 236  | 0,85 | 0,62 | 94,4   | 58,5  | 111,1  |
| Пункт экипировки локомотива                                      | 384  | 0,9  | 0,48 | 153,6  | 73,7  | 170,4  |
| Площадка для ПАЗС  | 238  | 0,8  | 0,75 | 95,2   | 71,4  | 119,0  |
| Ж.д. весы  | 75   | 0,9  | 0,48 | 37,5   | 18,0  | 41,6   |
| Стоянка грузового автотранспорта №1                              | 238  | 0,9  | 0,48 | 142,8  | 68,5  | 158,4  |

## Продолжение таблицы 5

| 1                                   | 2    | 3    | 4    | 5       | 6       | 7       |
|-------------------------------------|------|------|------|---------|---------|---------|
| Стоянка грузового автотранспорта №2 | 244  | 0,9  | 0,48 | 146,4   | 70,3    | 162,4   |
| Стоянка легкового автотранспорта    | 113  | 0,9  | 0,48 | 67,8    | 32,5    | 75,2    |
| Пожарное депо                       | 140  | 0,9  | 0,48 | 98,0    | 47,0    | 108,7   |
| Освещение                           | 1450 | 0,95 | 0,42 | 1160,0  | 556,8   | 1286,7  |
| Всего                               | -    | -    | -    | 21351,1 | 14864,1 | 26110,3 |

### 2.2 Потребление электроэнергии для освещения производственных помещений

Важной составляющей энергозатрат предприятия является электрическое освещение производственных и бытовых помещений.

Необходимая освещённость каждого помещения должна соответствовать санитарным нормам и требованиям и зависит от его назначения.

Потребляемая мощность электрической энергии зависят от площади помещения, уровня освещённости и типа выбранных светильников. Нормы освещённости для производственных и административных помещений из нормативно-технической литературы (СНиП 23-05-95) [17].

Расчёты по определению необходимого количества светильников выполнялся с использованием программного комплекса DIALux 5.1 Light.

Расчётное количество светильников для установки внутри производственного помещения, выполняем по методу коэффициента использования [17].

Определим площадь помещения, которую необходимо осветить по выражению (9).

$$S = a \times b. \quad (9)$$

где  $S$  – площадь освещения,  $m^2$ ;

$a$  – длина помещения,  $m$ ;

$b$  – ширина помещения, м.

Коэффициенты отражения света от пола, стен и потолка принимаем при расчёте соответственно равными 30%, 50%, 80%.

Расчётное количество светильников определяем по выражению 10:

$$K = \frac{E \times S \times K_3}{\eta \times \Phi_{\text{л}}}, \quad (10)$$

где  $E$  – требуемая освещённость;

$S$  – площадь освещённости;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$\eta$  – коэффициент использования;

$\Phi_{\text{л}}$  – световой поток.

Активную мощность, потребляемую системой освещения, рассчитываем по выражению (11):

$$P_{\text{осв}} = \sum K_i \times P_i, \quad (11)$$

Реактивная мощность системы освещения рассчитываем по выражению (12).

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \times \text{tg}\varphi, \quad (12)$$

Реактивная мощность системы освещения рассчитываем по выражению (13)

$$S_{\text{осв}} = \frac{P_{\text{осв}}}{\cos\varphi}. \quad (13)$$

Расчётные данные выбранных светильников, технические характеристики помещений, указанных в таблице 2 вносим в программу DIALux.

Полученные результаты для дальнейших расчётов приведены в таблице 5.

В результате расчётов получена активная мощность. При расчёте полной мощности, потребляемой светильниками, принимаем  $\cos\varphi = 0,95$  и рассчитываем по выражению (14), (15).

$$S_{\text{осв}} = \frac{P_{\text{осв}}}{\cos\varphi}. \quad (14)$$

Также при расчёте учтём потери в кабельной линии:

$$S_{\text{осв п}} = S_{\text{осв}} \times 1,05. \quad (15)$$

Энергозатраты на освещение составят 1160 кВт, полная мощность с учетом потерь составляет  $S_{\text{осв п}} 1286,7$  кВА.

### **2.3 Картограмма электрических нагрузок и размещение центра питания**

Для определения места расположение центра нагрузок завода строят картограмму электрических нагрузок [18].

Для построения картограммы электрических нагрузок используют расчётные данные активной электрической мощность, потребляемой электрооборудованием и осветительными приборами производственных зданий и административных помещений.

Проектом предусмотрено размещение ГПП 110/10 кВ вне территории предприятия рядом с пунктом учета этанола, в связи с этим необходимость проведения расчетов картограммы электрических нагрузок отсутствует.

Выводы по разделу 2.

Выполнены расчёты потребляемой мощности как для производственного участка, так и для суммарного потребления электроэнергии всего завода, включая осветительную нагрузку.

Выбраны светильники согласно уровню освещённости и определена их суммарная потребляемая мощность для создания освещённости, соответствующей нормативным требованиям.

Вычислена активная и реактивная потребляемая электрическая мощность, а также её потери в кабельных линиях. Определена суммарная мощность, потребляемая от сети. Также в разделе определено размещение центра питания предприятия (ГПП 110/10 кВ) и категория надежности энергопринимающих устройств предприятия в соответствии с ПУЭ [19].

Полученные расчетные данные в дальнейшем будут применены для расчетов установленной мощности силовых трансформаторов цеховых ТП и ГПП.

### 3 Расчёт числа и установленной мощности трансформаторов на подстанции

#### 3.1 Выбор трансформаторов на в цеховых ТП

Для дальнейших расчётов определим, что на заводе присутствуют потребители I и II категории надёжности, в связи с этим применяем к расчёту цеховые двухтрансформаторные схемы питания.

В качестве примера проведем расчет распределения нагрузки, приходящейся на одну ТП.

Для расчета распределим потребителей электроэнергии поровну на каждый трансформатор для равномерного распределения нагрузки [19].

Полученные расчётные данные распределения для производственного участка занесены в таблицу 6.

Таблица 6 – Распределение электроприёмников по секциям в щитовой для производственного участка

| 1 С-0,4                             |                   |           |          | 2 С-0,4                      |           |           |          |
|-------------------------------------|-------------------|-----------|----------|------------------------------|-----------|-----------|----------|
| Электроприёмники                    | S<br>потр,<br>кВА | n,<br>шт. | №<br>ШРА | Электроприёмники             | S,<br>кВА | n,<br>шт. | №<br>ШРА |
| Насосная установка                  | 66,7              | 2         | 1        | Установка хим.подготовки     | 180       | 3         | 2        |
| Система очистки от углекислого газа | 120               | 3         |          | Компрессорная                | 176,5     | 6         | 4        |
| Система очистки сточных вод         | 200               | 4         | 3        | Зерносушилка                 | 38,1      | 2         | 6        |
| Система биоочистки                  | 18,8              | 2         |          | Фасовочная установка         | 11,8      | 2         |          |
|                                     |                   |           |          | Координатно-расточный станок | 20        | 2         |          |
| Упаковка                            | 10                | 2         |          |                              |           |           |          |
| Производственное оборудование       | 80                | 4         | 5        | Чиллирная                    | 50        | 4         | 8        |

Для правильного выбора распределительных шин выполним расчёт электроэнергии, распределяемой каждым ШРА [20].

При расчёте учитываем максимальную мощность и сменную мощность.

Максимальную мощность определяем сумма нормативных мощностей всех электроприёмников, если бы они были включены одновременно [18].

Сменную мощность рассчитываем с учётом реальной загрузки оборудования. Вычисления выполняем для потребителей, подключённых к ШРА1 [33]:

$$P_{Н(ШРА1)} = \sum P_{ГР} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 186,7 \text{ кВт.}$$

$$P_{СМ(ШРА1)} = \sum P_{СМ(1)} + P_{СМ(2)} + P_{СМ(3)} + P_{СМ(4)} + P_{СМ(5)} = 143 \text{ кВт.}$$

$$Q_{СМ(ШРА1)} = \sum Q_{СМ(1)} + Q_{СМ(2)} + Q_{СМ(3)} + Q_{СМ(4)} + Q_{СМ(5)} = 74 \text{ кВАр.}$$

$$\begin{aligned} S_{СМ(ШРА1)} &= \sqrt{\sum P_{СМ(ШРА1)}^2 + \sum Q_{СМ(ШРА1)}^2} = \\ &= \sqrt{134^2 + 79,4^2} = 155,7 \text{ кВА} \end{aligned}$$

Коэффициент использования электроэнергии для ШРА1 вычислим по выражению [33]:

$$K_{и\text{ ср}} = \frac{\sum P_{СМ(ШРА1)}}{\sum P_{Н(ШРА1)}} = \frac{134}{186,7} = 0,72$$

Определим эффективное число электроприемников.

$$m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}} = \frac{32}{30} = 1,07$$

где  $m$  – показатель силовой сборки в группе электроприёмников.

Так как при расчёте  $m < 3$ , эффективное число электроприемников находим по формуле  $n_э = n = 5$ .

Коэффициент максимума активной нагрузки вычислим по выражению<sup>^</sup>

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_3}} \times \sqrt{\frac{1 - K_{и.ср}}{K_{и.ср}}} = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{5}} \times \sqrt{\frac{1 - 0,72}{0,72}} = 1,4$$

Рассчитаем коэффициент максимума реактивной нагрузки, используя эмпирическое правило: если  $n_3 \leq 10$ , то  $K'_M = 1.1$ , а если  $n_3 > 10$ , то  $K'_M = 1$ .

Поскольку  $n_3 = 6$ ,  $K'_M = 1.1$ .

Максимальная активную нагрузку на ШРА1 составит:

$$P_{Mcm(ШРА1)} = K_M \cdot P_{cm(ШРА1)} = 1,4 \times 134 = 187,6 \text{ кВт.}$$

Максимальную реактивную нагрузку на ШРА1 рассчитаем, как:

$$Q_{Mcm(ШРА1)} = K_M \cdot Q_{cm(ШРА1)} = 1,4 \times 79,4 = 111,6 \text{ кВт.}$$

Максимальная полная нагрузка на ШРА1:

$$S_{Mcm(ШРА1)} = \sqrt{P_{Mcm(ШРА1)}^2 + Q_{Mcm(ШРА1)}^2} = 227,4.$$

$$\cos\varphi = \frac{P_{cm(ШРА1)}}{S_{cm(ШРА1)}} = \frac{187,6}{218,1} = 0,86.$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_{cm(ШРА1)}}{S_{cm(ШРА1)}} = \frac{111,16}{218,1} = 0,5.$$

Аналогичным образом выполняем расчёты для других остальных ШРА и полученные расчётные значения заносим в таблицу 7.

Максимальные токовые значения определим по выражению (16):

$$I_{M(ШРА)} = \frac{S_{M(ШРА)}}{\sqrt{3} \cdot U}, \tag{16}$$

$$I_{M(ШРА1)} = \frac{218,1}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 315 \text{ А.}$$



Результаты расчётов занесём в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты расчёта нагрузок на ШРА

| № ШРА  | $P_n$ , кВт | $P_{см}$ , кВт | $Q_{см}$ , кВАр | $S_{см}$ , кВА | $m$ | $K_{и.ср.}$ | $K_M$ | $P_{м.см.}$ , кВт | $Q_{м.см.}$ , кВАр | $S_{м.см.}$ , кВА | $\cos\varphi$ | $\operatorname{tg}\varphi$ | $I_M$ , А |
|--------|-------------|----------------|-----------------|----------------|-----|-------------|-------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------|----------------------------|-----------|
| 1С-0,4 |             |                |                 |                |     |             |       |                   |                    |                   |               |                            |           |
| 1      | 186,7       | 134            | 79,4            | 155,7          | 1,1 | 0,72        | 1,4   | 187,6             | 111,16             | 218,1             | 0,86          | 0,5                        | 315       |
| 3      | 98,8        | 59,3           | 60,5            | 84,7           | 2,1 | 0,6         | 1,5   | 88,95             | 90,75              | 127,1             | 0,70          | 0,7                        | 183       |
| 5      | 200         | 120            | 122,4           | 171,4          | 1   | 0,6         | 1,6   | 192               | 195,84             | 274,3             | 0,70          | 0,7                        | 396       |
| 2С-0,4 |             |                |                 |                |     |             |       |                   |                    |                   |               |                            |           |
| 2      | 180         | 108            | 81              | 135            | 1   | 0,6         | 1,7   | 183,6             | 137,7              | 229,5             | 0,80          | 0,6                        | 331       |
| 4      | 176,5       | 105,9          | 108             | 151,3          | 1   | 0,6         | 1,5   | 158,85            | 162                | 226,9             | 0,70          | 0,7                        | 327       |
| 6      | 79,9        | 35,9           | 35,9            | 51,2           | 3,6 | 0,45        | 1,6   | 57,44             | 57,497             | 81,3              | 0,71          | 0,7                        | 117       |
| 8      | 50          | 35             | 26,3            | 43,8           | 1   | 0,7         | 1,5   | 52,5              | 39,45              | 65,7              | 0,80          | 0,6                        | 95        |

Результаты расчётов на шинах низкого напряжения питающих трансформаторов представлены в таблице 9.

Также выполнено распределение электроприёмников по секциям 0,4 с условием равномерной загрузки трансформаторов.

Таблица 9 – Мощность на ШНН питающих трансформаторов

| $P_{см}$ , кВт | $Q_{см}$ , кВАр | $S_{см}$ , кВА | $P_M$ , кВт | $Q_M$ , кВАр | $S_M$ , кВА |
|----------------|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|
| 598            | 514             | 788            | 921         | 794          | 1216        |

С учетом подключаемой нагрузки двух других производственных участков итоговая мощность на шинах ТП составит 2749 кВА (таблица 10).

Таблица 10 – Мощность на ШНН питающих трансформаторов

| $P_{см}$ , кВт | $Q_{см}$ , кВАр | $S_{см}$ , кВА | $P_M$ , кВт | $Q_M$ , кВАр | $S_M$ , кВА |
|----------------|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|
| 1395,3         | 1110,2          | 1783,1         | 2149        | 1715         | 2749        |

Как было сказано в разделе 2 данной работы питание предприятия будет осуществляться от строящейся ГПП 110/10 кВ, которая располагается рядом с предприятием.

Цеховые трансформаторные подстанции, подключаются через кабельные линии 10 кВ к распределительному устройству 10 кВ ГПП 110/10 кВ предприятия (ячейки КРУ 10 кВ).

Напряжение, поступающее на цеховые подстанции, составляет 10 кВ; оно преобразуется в 400 В [34].

На каждой цеховой подстанции планируется к установке по два трансформатора 10/0,4 кВ.

Каждый из двух трансформатора на подстанции получает питание от отдельной секции ГПП 110/10 кВ предприятия, это сводит к минимуму вероятность одновременного прекращения электропитания по двум ветвям [13]. Мощность трансформаторов рассчитываем по формуле (17).

$$S_{Н.Т} = \frac{S_{общ}}{N \times K_3} = \frac{2749}{2 \times 0,72} = 1909 \text{ кВА} \quad (17)$$

В случае аварии или планового техобслуживания одного из трансформаторов – все электроприёмники подключаются к другому. При этом оставшийся трансформатор работает в режиме допустимой перегрузки.

Потери в трансформаторе вычислим по формулам (18), (19), (20).

$$\Delta P_T = 0,02 \times S_M = 0,2 \times 1909 = 382 \text{ кВт}, \quad (18)$$

$$\Delta Q_T = 0,01 \times S_M = 0,01 \times 1909 = 190 \text{ кВАр}, \quad (19)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = 427 \text{ кВА}. \quad (20)$$

Расчётную мощность с учётом потерь вычисляется по формуле (21).

$$S_T = 0,7(S_{M(\text{ШНН})} + \Delta S_T) = 0,7 \times (2749 + 427) = 2244. \quad (21)$$

где 0,7 – это коэффициент загрузки двух трансформаторной подстанции.

Выбираем трансформатор ТМГ 2500 кВА 10/0,4 кВ со значением мощности ближайшим более высоким [22].

Технические характеристики силового выбранного трансформатора указаны в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики трансформатора ТМГ 2500 кВА 10/0,4 кВ

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Номинальная мощность, кВА         | 2500                                     |
| Номинальное напряжение ВН/НН, кВ  | 10 / 0,4                                 |
| Схема и группа соединения обмоток | Y/Y <sub>n</sub> -0 Д/Y <sub>n</sub> -11 |
| Потери холостого хода, кВт        | 4,6                                      |
| Потери короткого замыкания, кВт   | 24,5                                     |
| Ток холостого хода, %             | 1  |
| Напряжение короткого замыкания, % | 5,5                                      |

Всего к установке принято 7 трансформаторных подстанций с двумя трансформаторами ТМГ 2500 кВА 10/0,4 кВ.

### 3.2 Расчёт и выбор компенсирующего устройства

Для уменьшения реактивных потерь выбираем компенсирующее устройство. Для выбора оптимального компенсирующего устройства выполним расчёт активных и реактивных нагрузок, подключённых к каждому трансформатору [23].

Для определения потерь электроэнергии в каждом трансформаторе применим расчётную мощность с учётом номинальной загрузки трансформаторов на 70 % и  $\cos\varphi = 0,8$ ,  $\operatorname{tg}\varphi = 0,75$  используя формулы (22), (23).

$$\Delta P_T = P_{xx} + K_3^2 \times P_{кз}, \quad (22)$$

$$\Delta P_T = 4,6 + 0,8^2 \times 24,5 = 20,3 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = (i_0 + K_3^2 \times U_{кз}) \times \frac{S_H}{100}, \quad (23)$$

$$\Delta Q_T = (0,7 + 0,8^2 \times 5,5) \times \frac{2500}{100} = 105,5 \text{ кВар}.$$

На стороне высокого напряжения трансформатор каждый трансформатор потребляет мощность от головной подстанции [24]:

$$P_{P1} = P_{P\Sigma} + P_{T\Sigma}, \quad (24)$$

$$P_{P1} = 1400 + 20,3 = 1420,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{P1} = Q_{P\Sigma} + Q_{T\Sigma}, \quad (25)$$

$$Q_{P1} = 1050 + 105,5 = 1155,5 \text{ кВар},$$

На трансформаторе желательно скомпенсировать реактивную мощность до  $\cos\varphi = 0,95$ ,  $\text{tg}\varphi = 0,33$ .

$$Q_{кр} = \alpha \times P_M (\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_k) \quad (26)$$

где  $Q_{кр}$  – расчётная мощность компенсирующего устройства, квар;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности  $\cos\varphi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;

$\text{tg}\varphi$ ,  $\text{tg}\varphi_k$  – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Фактический коэффициент реактивной мощности составит:

$$tg\varphi_{\phi} = tg\varphi - Q_{к.ст.}/a \times P_M \quad (27)$$

где  $Q_{к.ст.}$  – стандартное значение мощности выбранного компенсирующего устройства КУ, кВАр [24].

$$Q_{кр} = 0,9 \times 1420 \times 0,75 \times 0,33 = 316 \text{ кВАр},$$

Выбираем две конденсаторные установки типа КРМ-0,4-175-7 УЗ [25]. Данная КУ предназначена для электроприемников с переменным потреблением реактивной мощности. КУ выполнена на микропроцессорном регуляторе с автоматическим режимом отслеживания изменения потребления реактивной мощности и релейными выходами. Коммутация конденсаторной батареи осуществляется электромеханическими контакторами с предварительно включаемыми токоограничивающими резисторами, включённых для уменьшения пусковых токов.

Технические характеристики выбранной КУ указаны в таблице 12.

Таблица 12 – Технические характеристики КРМ-0,4-175-7 УЗ

|                                    |                  |
|------------------------------------|------------------|
| Номинальная мощность, кВАр         | 175              |
| Мощность минимальной ступени, кВАр | 25               |
| Конфигурация ступеней              | 7×25             |
| Габариты, мм                       | 2150 × 800 × 450 |

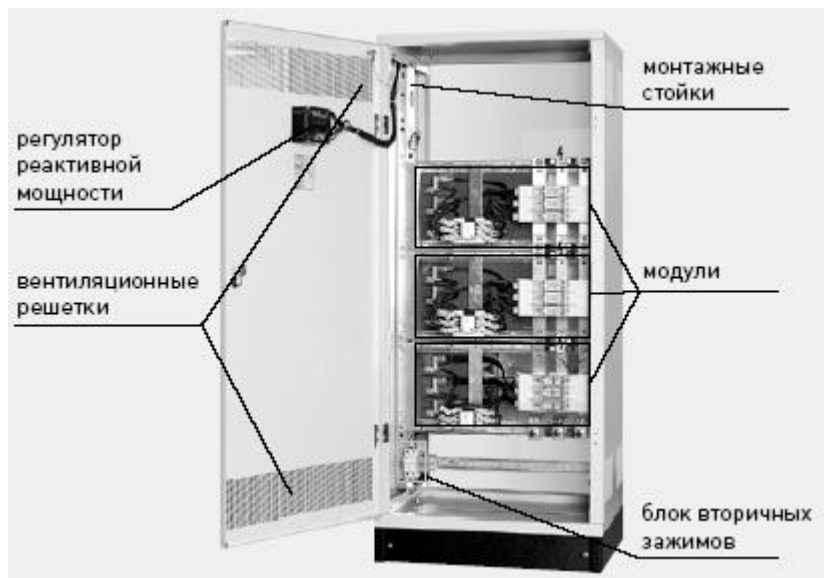


Рисунок 1 – Внешний вид установки КРМ-0,4-175-7 УЗ

Подключение к сети конденсаторной установки показано на рисунке 2.

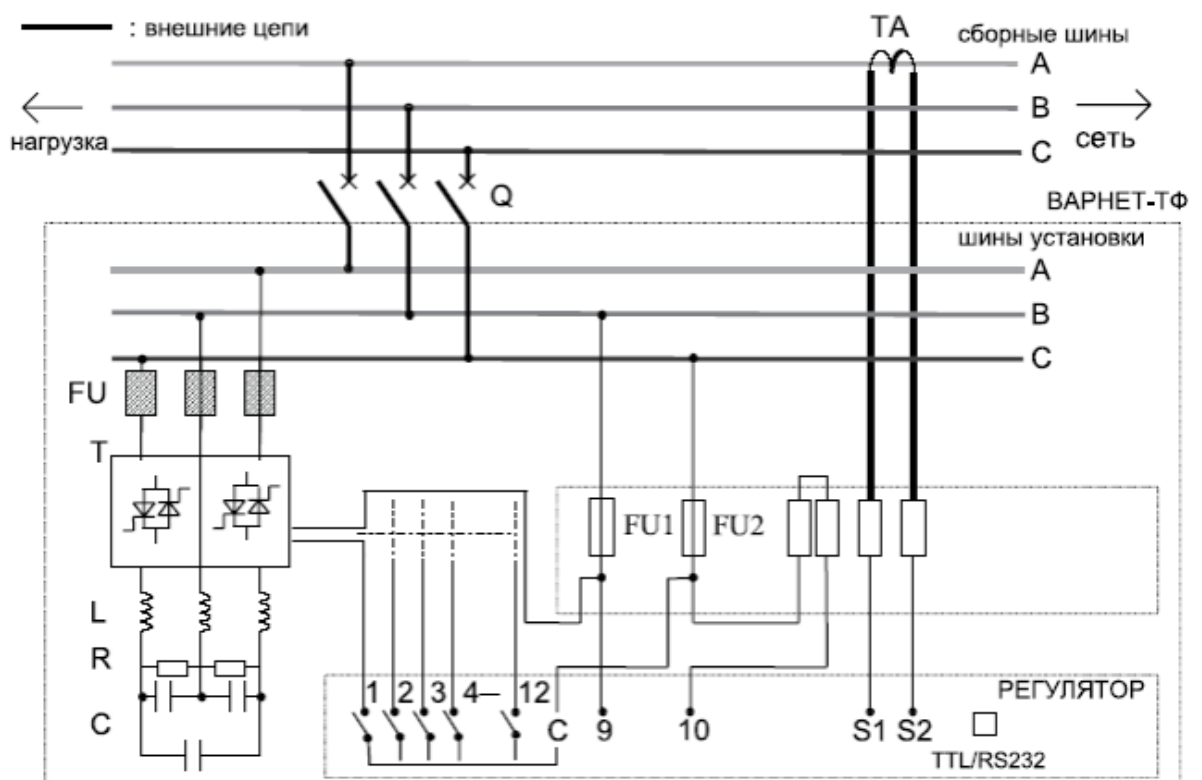


Рисунок 2 – Подключение конденсаторной установки к сети

По результатам расчетов сведём полученные данные распределения мощности по цеховым трансформаторным подстанциям с учетом мероприятий по компенсации реактивной мощности в таблицу 13.

Таблица 13 – Параметры цеховых ТП

| Номер ТП | Номер тр-ра | Тип тр-ра         | Тип КУ           | $P_{P1}$ , кВт | $Q_{с\text{кр}}$ , кВАр | $S_T$ , кВА |
|----------|-------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------------|-------------|
| ТП-1     | Т-1         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1111,0         | 158,0                   | 1122,2      |
|          | Т-2         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1111,0         | 158,0                   | 1122,2      |
| ТП-2     | Т-1         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1613,0         | 263,0                   | 1634,3      |
|          | Т-2         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1613,0         | 263,0                   | 1634,3      |
| ТП-3     | Т-1         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1555,4         | 221,2                   | 1571,1      |
|          | Т-2         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1555,4         | 221,2                   | 1571,1      |
| ТП-4     | Т-1         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1613,0         | 263,0                   | 1634,3      |
|          | Т-2         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1613,0         | 263,0                   | 1634,3      |
| ТП-5     | Т-1         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1672,5         | 283,0                   | 1696,3      |
|          | Т-2         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1672,5         | 283,0                   | 1696,3      |
| ТП-6     | Т-1         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1663,0         | 267,0                   | 1684,3      |
|          | Т-2         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1663,0         | 267,0                   | 1684,3      |
| ТП-7     | Т-1         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1651,0         | 277,0                   | 1674,1      |
|          | Т-2         | ТМГ 2500 - 10/0,4 | КРМ-0,4-175-7 УЗ | 1651,0         | 277,0                   | 1674,1      |
| Итого    | -           | -                 | -                | 21757,8        | 3464,4                  | 22031,9     |

На основании полученных данных проведем расчет мощности силовых трансформаторов, устанавливаемых на ГПП 110/10 кВ.

### 3.3 Выбор трансформаторов в центре питания

Промышленное предприятие относится ко I группе надёжности, поскольку длительный перерыв в электроснабжении может привести к большому количеству брака готовой продукции. Для электроснабжения промышленного предприятия, относящемуся ко первой группе надёжности, выбираем двухтрансформаторную подстанцию [21].

Питание предприятия планируется осуществить от строящейся ГПП 110/10 кВ, которая расположена на территории проектируемого предприятия.

Присоединенная мощность энергетических установок предприятия после осуществления технологического присоединения составит 21,7 МВт с учетом мероприятий по компенсации реактивной мощности (22 МВА).

Соответственно определим необходимую мощность силовых трансформаторов 110/10 кВ устанавливаемых на ГПП предприятия [4].

$$S_{н.т} = \frac{S_{общ}}{N \times K_3} = \frac{22031,9}{2 \times 0,7} = 15737 \text{ кВА}$$

Необходимо отметить, что по стандартной шкале установленной мощности силовых трансформаторов являются трансформаторы мощностью 16 МВА и 25 МВА. Учитывая коэффициент набора нагрузки 1,0 [12], расчетная мощность составит 22031,9 МВА, соответственно выберем к установке два трансформатора мощностью 25 МВА.

Определим длительно допустимую перегрузку трансформатора с учетом коэффициента допустимой длительной (без ограничения длительности):

$$S_{ддн} = S_{ном.т} \cdot k_{пер} = 25 \cdot 1,2 = 30 \text{ МВА}$$

где  $S_{ном.т}$  – номинальная мощность силового трансформатора, МВА;

$k_{пер}$  – коэффициент допустимой длительной (без ограничения длительности) перегрузки при ТНВ, °С.



Определим коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме (ПАР)  $k_3$ :

$$k_3 = \frac{S_{\text{пер}}^{\text{тр}}}{S_{\text{ддн}}} = \frac{22,0}{30} = 0,63$$

где  $S_{\text{пер}}^{\text{тр}}$  – полная мощность с учетом коэффициента набора нагрузки подключаемых энергопринимающих устройств предприятия, МВА;

$S_{\text{ддн}}$  – длительно допустимая перегрузка трансформатора с учетом коэффициента допустимой длительной (без ограничения длительности), МВА.

В послеаварийном режиме (далее – ПАР) отключения одного из трансформаторов максимальная нагрузка оставшегося в работе трансформатора составит 73,1 % от  $S_{\text{ддн}}$ , что не превышает  $S_{\text{ддн}}$  трансформаторов. При аварийном отключении перевод нагрузки на другие центры питания невозможен. Не предусмотрено схемой подключения по стороне 110 кВ.

При выборе трансформатора установленной мощностью 16 МВА в ПАР отключения одного из трансформаторов максимальная нагрузка оставшегося в работе трансформатора составит 114,6 % от  $S_{\text{ддн}}$ , что превышает  $S_{\text{ддн}}$  трансформаторов.

С учетом вышеизложенного в настоящий момент установка двух трансформаторов мощностью 25 МВА является достаточным техническим решением. Установка трансформаторов мощностью 16 МВА не требуется в связи с перегрузкой трансформаторов в ПАР [12].

Выводы по разделу 3.

В данном разделе на основании произведённых расчётов потребляемой мощности предприятия по производству пищевых продуктов учитывая коэффициент загрузки трансформаторов в аварийном режиме работы и

категории электроприёмников по надёжности электроснабжения равный 1,4, определена необходимая номинальная мощность трансформаторов, устанавливаемых в цеховых ТП, а также силовых трансформаторов, устанавливаемых на ГПП 110/10 кВ.

Принято для установки 7 двухтрансформаторных подстанция с масляными герметичными трансформаторами номинальной мощностью одного трансформатора 2500 кВА, типа ТМГ 2500 кВА 10/0,4 кВ.

На ГПП 110/10 кВ приняты к установке два силовых трансформатора типа ТДН-25000/110/10 кВ. При этом расчетами обосновано, что в ПАР отключения одного из трансформаторов максимальная нагрузка оставшегося в работе трансформатора не превысит допустимых значений.

На стороне низкого напряжения на шинах каждого трансформатора произведён расчёт автоматической конденсаторной установки для централизованной компенсации реактивной мощности с расчётной мощностью  $2 \times 75$  кВАр, с возможностью регулирования её мощности шагом регулирования  $7 \times 25$  кВАр.

Подключение конденсаторных установок позволяет уменьшить потери электроэнергии за счет снижения величины перетока реактивной мощности по стороне напряжения 10 кВ.

## 4 Электрическая схема электроснабжения

### 4.1 Выбор и обоснование схемы ГПП

В соответствии с расчётами, выбираем двухтрансформаторную подстанцию 110/10 кВ с трансформаторами 25 МВА типа ТДН [25].

Подстанция подключается к системам шин 110 кВ ПС 220 кВ Хопер (рисунок 3).

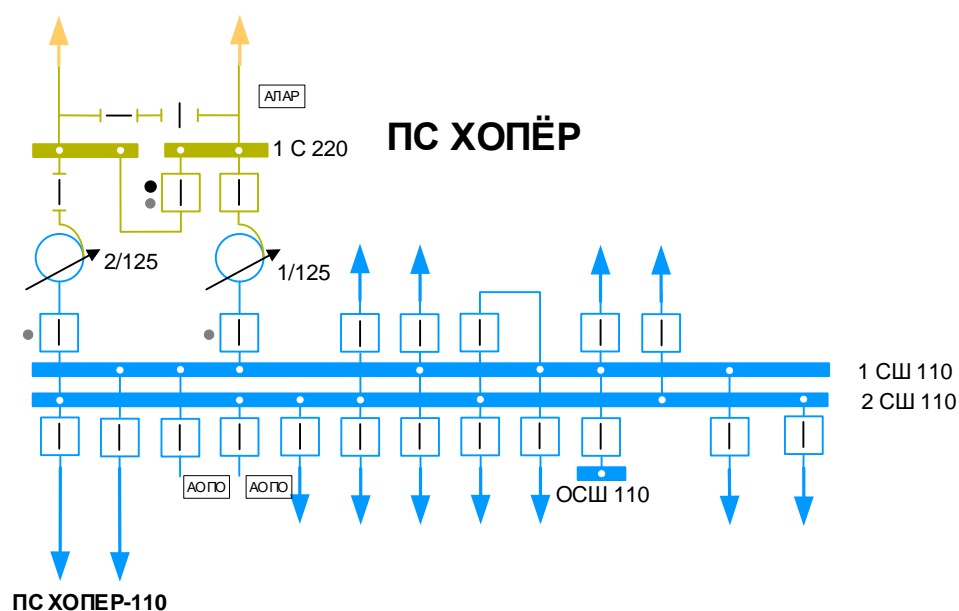


Рисунок 3 – электрическая схема ПС 220 кВ Хопер

На рисунке 4 представлено проектируемое подключение через ВЛ 110 кВ ПС 110/10 кВ к ПС 220 кВ Хопер.

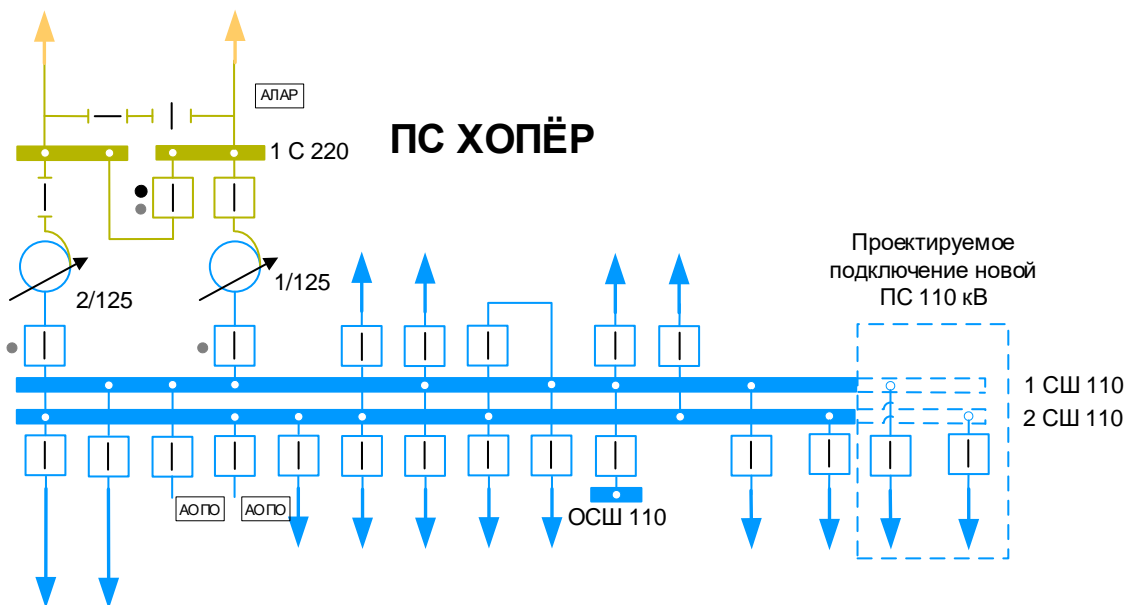


Рисунок 4 – Проектируемое подключение к с.ш. 110 кВ ПС 220 кВ Хопер

Определим компоновочные решения для ГПП 110 кВ предприятия (таблица 14).

Таблица 14 - Характеристики электрической части ГПП 110 кВ

| Показатель<br>1                               | Значение<br>2  | Примечание<br>3   |
|---|--|---|
| Номинальное напряжение                        | 110/10 кВ  | В соответствии с заданием на проектирование               |
| Конструктивное исполнение ПС и РУ             | Открытая подстанция ОРУ 110 кВ – по схеме №110-4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»<br>ЗРУ 10 кВ – по схеме № 10-1 «Одна, секционированная выключателем, система шин» | Схема подключения соответствует 1 категории по надежности |
| Количество и мощность силовых трансформаторов | 2×ТДН-25000/110/10   | Обеспечивает надежность в ПАР                             |
| Трансформаторы собственных нужд               | 2×ТМГ-160/10   | В соответствии с заданием на проектирование               |

Продолжение таблицы 14

| 1  | 2  | 3                            |
|--|--|------------------------------|
| Тип, количество средств компенсации емкостных токов ОЗЗ 10 кВ  | Не предусмотрено   | -                            |
| Тип, количество средств компенсации реактивной мощности (СКРМ) | Отсутствуют  | Устанавливаются в цеховых ТП |
| Здание ЗРУ   | Одноэтажное здание, из быстровозводимых конструкций, высотой 3,67 м, площадью 295,7 м <sup>2</sup> | -                            |

Из таблицы 16 видно, что ОРУ 110 кВ будет выполнена по схеме №110-4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [8]. В качестве выключателей по стороне 110 кВ предлагается использовать элегазовые выключатели 110 кВ типа ВГТ 110 кВ. Такая схема по надежности [2] является достаточной для ГПП, так как данная подстанция подключается к системе шин 110 кВ по 220 кВ Хопер [20], а наличие в цепи блоков 110 кВ выключателей 110 кВ обеспечивает своевременное отключение [32].

Проектом предусматривается открытая установка силовых трансформаторов с сооружением, в соответствии с п. 4.2.69 ПУЭ [19] маслоприемников, маслоотводов и заглубленного маслосборника, вмещающего полный объем масла одного трансформатора и 80 % общего расхода воды от средств пожаротушения.

Высоковольтное оборудование 110 кВ устанавливается на отдельные типовые металлоконструкции круглого сечения заводского изготовления, с антикоррозийным покрытием методом горячего цинкования толщиной не менее 150 мкм [19]. Ошиновка РУ-110 кВ выполняется гибким сталеалюминевым проводом типа АС-120/19 [9].

Порталы 110 кВ предусматриваются стальными трубного сечения, заводского изготовления, с антикоррозийным покрытием методом горячего цинкования толщиной не менее 150 мкм. Портал выполнен свободностоящим

в виде П-образной конструкции с заземленными на фундаментах стойками и шарнирным соединением стоек с траверсами [10].

В качестве прожекторных мачт, совмещенных с молниеприемниками, работой предусматриваются высокомачтовые многогранные опоры с мобильной короной типа ВМО, производства ГК «Амира» [10]. Размещение светильников наружного освещения предусматривается непосредственно на мобильной короне [10].

## **4.2 Выбор и обоснование схемы цеховых ТП**

В соответствии с расчётами, выбираем двухтрансформаторные подстанции 2КТПБ-2500/10/0,4-03-У1 [16], в количестве 7 шт.

Для унификации выберем типовое оборудование для КТПБ.

«Требования к надежности соответствуют ГОСТ 20.39.312. Вероятность безотказной работы за наработку 8760 часов – не ниже 0,98. Срок службы до списания – 30 лет, при условии проведения технического обслуживания и (или) замены аппаратуры и ее комплектующих изделий в соответствии с указаниями инструкции по эксплуатации на КТПБ. Гарантийный срок хранения — не более 6 месяцев при условии соблюдения требований ГОСТ 23216 в части консервации» [22].

Электрическая схема подстанции, с присоединёнными конденсаторными установками, приведена на рисунке 3.

На подстанцию подаётся напряжение по двухцепной линии с номинальным напряжением 10 кВ. Каждый трансформатор запитан от своей линии через свой выключатель. Для обеспечения надёжности электроснабжения потребителей электроэнергии при отключении одной из ЛЭП 10 кВ на стороне 0,4 кВ КТПБ предусмотрен секционный автомат САС для автоматического включения резерва (АВР). В случае отключения одного из трансформаторов питание будет автоматически подаваться с оставшегося в работе трансформатора.

Электроснабжение цехов, склада и административного здания выполнено от шести КТПБ с двумя трансформаторами. Для обеспечения надёжности схема системы электроснабжения выполнена по радиальной схеме [5].

В нормальном режиме работы от двух трансформатор секционные автоматы по стороне 0,4 в КТПБ и в «Щитовых» цеха или административного здания отключены, при аварийном отключении одного из вводов в щитовой автоматически сработает АВР на включение секционного автомата и электроснабжение потребителей восстановится. Возврат схемы в нормальный режим работы при появлении напряжения на отключившемся вводе возможен в автоматическом или в ручном режиме работы.

Также при такой схеме электроснабжения обеспечивается ремонтный режим трансформаторов без обесточивания потребителей.

Трансформаторный отсек отделен от других помещений КТПБ защитной перегородкой, для защиты персонала от поражения током и от возможных последствий короткого замыкания [14]. Предусмотрена возможность осмотра трансформаторных камер при наличии напряжения, для этого на токоведущих частях силовых трансформаторов имеются съемные изолированные барьеры, устанавливаемые на высоте 1,2 м.

На стороне высокого напряжения установлены трансформаторы тока. Они нужны для учёта потребляемой электроэнергии, а также для подачи информации схемам защиты от короткого замыкания [28].

В схеме предусмотрены блокировки:

- а) блокировка, не допускающая включения или отключения разъединителей при включенном выключателе первичной цепи;
- б) блокировка между выключателем нагрузки или разъединителем и заземляющим разъединителем, не позволяющая включать выключатель нагрузки или разъединитель при включенном заземляющем разъединителе и включать заземляющий

- разъединитель при включенном выключателе нагрузки или разъединителе;
- в) блокировка, не позволяющая замены предохранителей ВН без включения заземляющих ножей;
  - г) блокировка между выключателями нагрузки и разъединителями, присоединенными к одной системе шин, и заземляющим разъединителем этих шин, не позволяющая включать выключатели нагрузки и разъединители при включенном заземляющем разъединителе шин и включать заземляющий разъединитель шин при включенном хотя бы одном выключателе нагрузки или разъединителе [27].

### 4.3 Выбор распределительных шин и проводников

Для подачи напряжения 0,4 кВ к распределительным пунктам и к шинопроводам выбираем кабель марки АВВГнг [16].

Расчётный ток на шинах между трансформатором и секцией 0,4 в КТПБ:

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{н.Т}},$$

где  $S_T$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{н.Т}$  – номинальное напряжение трансформатора принимаем как 0,4 кВ.

Линия к РУ-0,4, ШРА:

$$I_{РУ} = \frac{S_{м.РУ}}{\sqrt{3} \times U_{н.РУ}}.$$

Линия к для каждого электроприемника:



$$I_p = \frac{\sqrt{P_H^2 + (P_H \times \operatorname{tg}\varphi)^2}}{\sqrt{3}U_H}. \quad (28)$$

Условие выбора сечения проводника:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad (29)$$

где  $I_{\text{доп}}$  - длительно допустимый ток для трехжильного кабеля, А.

Расчётные значения для шин КТПБ указаны в таблице 15.

Результаты расчёта и выбор кабелей приводятся в таблице 15.

Таблица 15 – Параметры токопроводов для питания нагрузок

| Элемент цепи             | $I_p$ , А | $I_{\text{доп}}$ , А | Размер шины на фазу, мм                   | Тип шинопровода | R, Ом/км | X, Ом/км |
|--------------------------|-----------|----------------------|---|-----------------|----------|----------|
| Шины от Т к С-0,4 ТПБ    | 3600      | 4000                 | $2 \times (160 \times 10) + 2 \times 640$ | ШМА-68-Н        | 0,013    | 0,02     |
| КЛ от С-0,4 ТПБ к РЩ-0,4 | 1755      | 2000                 | $2 \times 500$                            | -               | -        | -        |
| ШРА-1                    | 315       | 400                  | $60 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,13     | 0,1      |
| ШРА-3                    | 183       | 250                  | $35 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,2      | 0,1      |
| ШРА-5                    | 396       | 400                  | $60 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,13     | 0,1      |
| ШРА-2                    | 331       | 400                  | $60 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,13     | 0,1      |
| ШРА-4                    | 327       | 400                  | $60 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,13     | 0,1      |
| ШРА-6                    | 117       | 250                  | $35 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,2      | 0,1      |
| ШРА-8                    | 95        | 150                  | $25 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,3      | 0,1      |
| ШРА-9                    | 315       | 400                  | $60 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,13     | 0,1      |
| ШРА-13                   | 183       | 250                  | $35 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,2      | 0,1      |
| ШРА-12                   | 396       | 400                  | $60 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,13     | 0,1      |
| ШРА-10                   | 331       | 400                  | $60 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,13     | 0,1      |
| ШРА-15                   | 327       | 400                  | $60 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,13     | 0,1      |
| ШРА-14                   | 117       | 250                  | $35 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,2      | 0,1      |
| ШРА-11                   | 95        | 150                  | $25 \times 5$                             | ШРА-73          | 0,3      | 0,1      |

На основании полученных расчетных данных проведем выбор автоматических выключателей [31].

#### 4.4 Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели и расцепители выбираем на одну ступень больше максимального тока [11].

Выбранные автоматы приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Автоматические выключатели для коммутации тока в нагрузках

| Наименование оборудования | $I_p$ , А | Автоматический выключатель |
|---------------------------|-----------|----------------------------|
| ШРА-1                     | 315       | ВА-51-35М2-500А            |
| ШРА-3                     | 183       | ВА-51-35М2-250А            |
| ШРА-5                     | 396       | ВА-51-35М2-500А            |
| ШРА-2                     | 331       | ВА-51-35М2-500А            |
| ШРА-4                     | 327       | ВА-51-35М2-500А            |
| ШРА-6                     | 117       | ВА-51-35М2-1600А           |
| ШРА-8                     | 95        | ВА-51-35М2-125А            |
| ШРА-9                     | 315       | ВА-51-35М2-500А            |
| ШРА-13                    | 183       | ВА-51-35М2-250А            |
| ШРА-12                    | 396       | ВА-51-35М2-500А            |
| ШРА-10                    | 331       | ВА-51-35М2-500А            |
| ШРА-15                    | 327       | ВА-51-35М2-500А            |
| ШРА-14                    | 117       | ВА-51-35М2-1600А           |
| ШРА-11                    | 95        | ВА-51-35М2-125А            |

Учитывая, что на всём предприятии используется типовое оборудование, указанное оборудование в таблицах 15, 16 будет применено на всём предприятии.

Выводы к разделу 4.

В данном разделе проведен выбор питающей сети предприятия с.ш. 110 кВ ПС 220 кВ Хопер, выбрана схема электроснабжения предприятия, выбрана компоновка ТП 110/0,4 кВ, определены проводники по стороне 0,4 кВ. Выбрана компоновка ГПП 110/10 кВ, определены основные технические и инженерные решения системы электроснабжения предприятия по производству пищевых продуктов.

## 5 Расчёт значений токов коротких замыканий

### 5.1 Значения ТКЗ на ГПП

Расчет токов короткого замыкания по стороне 110 кВ и 10 кВ не проводится, так как используются данные, полученные от сетевой компании и проектной организации, которые занесены в таблицу 17.

Указанные данные будут использоваться при выборе оборудования ГПП 110/10 кВ предприятия.

Таблица 17 - Результаты расчетов токов КЗ

| Узел КЗ | Обозначение узла   | Макс. режим 2025, 2029 год |           | Мин. режим 2025, 2029 год |           |
|---------|--------------------|----------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
|         |                    | I(3)к, А                   | 3I0(1), А | I(3)к, А                  | 3I0(1), А |
| 1       | ГПП сторона-110 кВ | 21760                      | 20020     | 2230                      | 1960      |
| 2       | ГПП 1 с.ш. - 10 кВ | 8805                       | -         | 6685                      | -         |
| 3       | ГПП 2с - 10 кВ     | 8805                       | -         | 6685                      | -         |

Для проверки автоматических выключателей выполним расчёт токов короткого замыкания в разных точках схемы. Выберем путь от центра питания до электроприёмника – фасовочная установка (рисунок 5).

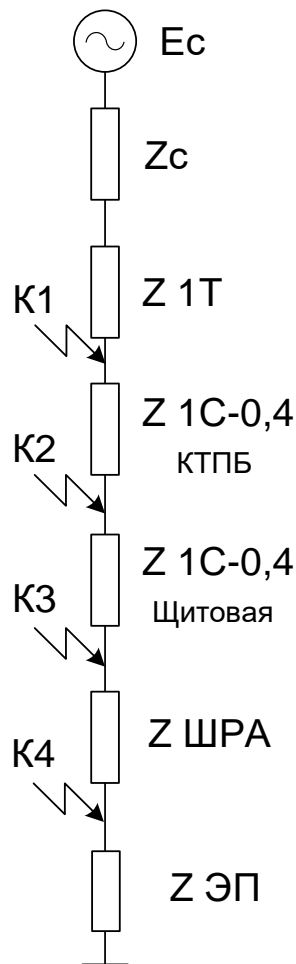


Рисунок 5 – Схема замещения, реальные элементы представлены в виде собственных реактивных сопротивлений

## 5.2 Значения ТКЗ на стороне 0,4 кВ

Определим параметры схемы замещения. Сделаем допущения: базовое напряжение примем равным 0,4 кВ, мощность энергосистемы 10000 кВА

Сопротивление энергосистемы:

$$Z_c = \frac{U_6^2}{S_c} = \frac{0,16}{10^7} = 1,6 \text{ мОм}$$

Сопротивление трансформатора берём из справочника [30]:

$$R_{1Т} = 5,4 \text{ мОм};$$

$$X_{T1} = 15,2 \text{ мОм};$$

$$Z_{T1} = 16,1 \text{ мОм}$$

Шинопровод от трансформатора к 1С-0,4 в КТПБ – примем длину 5 м:

$$R_{\text{ШП}} = R_0 \times l = 0,013 \times 5 = 6,5 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{ШП}} = X_0 \times l = 0,02 \times 5 = 0,1 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{ШП}} = \sqrt{R_{\text{ШП}}^2 + X_{\text{ШП}}^2} = 6,5 \text{ мОм},$$

Кабельная линия от 1С-0,4 КТПБ к 1С-0,4 Щитовой составляет 35 м:

$$R_{\text{КЛ1}} = R_0 \times l = 0,013 \times 35 = 4,5 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ1}} = X_0 \times l = 0,02 \times 35 = 0,7 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ1}} = \sqrt{R_{\text{КЛ1}}^2 + X_{\text{КЛ1}}^2} = 4,5 \text{ мОм},$$

Кабельная линия от 1С-0,4 Щитовой к ШРА1 составляет 50 м:

$$R_{\text{КЛ2}} = R_0 \times l = 0,12 \times 50 = 6 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ2}} = X_0 \times l = 0,058 \times 50 = 2,9 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ2}} = \sqrt{R_{\text{КЛ2}}^2 + X_{\text{КЛ2}}^2} = 6,6 \text{ мОм},$$

Кабельная линия от ШРА1 к фасовочной установке составляет 8 м:

$$R_{\text{КЛ3}} = R_0 \times l = 0,36 \times 8 = 2,88 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ3}} = X_0 \times l = 0,15 \times 8 = 1,2 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ3}} = \sqrt{R_{\text{КЛ3}}^2 + X_{\text{КЛ3}}^2} = 3,12 \text{ мОм},$$

### 5.3 Токи короткого замыкания в точке К1

Определим ток короткого замыкания в точке К1.

Ток трехфазного металлического короткого замыкания в точке К1:

$$I_{K1} = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_c + Z_T + Z_{ШП})} \quad (30)$$
$$I_{K1} = \frac{400}{\sqrt{3}(1,6 + 16,1 + 6,5)} = 9,5 \text{ кА}$$

Найдём ток трёхфазного дугового КЗ

$$I_{K31(D)} = I_{K1} \times K_{C1} = 9,5 \times 0,65 = 6,1 \text{ кА } (t < 0,05 \text{ с})$$

$$I_{K31(D)} = I_{K1} \times K_{C2} = 9,5 \times 0,74 = 7,03 \text{ кА } (t > 0,05 \text{ с})$$

Определим значение трёхфазного ударного тока. Для этого найдём соотношение  $R/X=5,4/15,2=0,35$ . Ударный коэффициент равен 1,32 согласно графику, на рисунке 6.

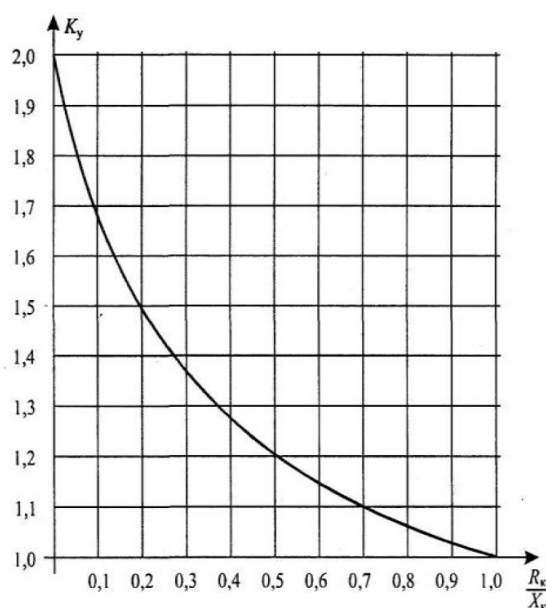


Рисунок 6 – Зависимость  $K_y = R_k/X_k$

$$I_y = \sqrt{2} \times K_{yd} \times K_1 = \sqrt{2} \times 1,32 \times 9,5 = 17,7 \text{ кА}$$

#### 5.4 Токи короткого замыкания в точке К2

Определим ток короткого замыкания в точке К2.

Ток трёхфазного металлического короткого замыкания в точке К2 [33]:

$$I_{K2} = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_c + Z_T + Z_{шп} + KЛ1)} \quad (31)$$

$$I_{K2} = \frac{400}{\sqrt{3}(1,6 + 16,1 + 6,5 + 4,5)} = 7,3 \text{ кА}$$

Найдём ток трёхфазного дугового КЗ

$$I_{K2(D)} = I_{K2} \times K_{C1} = 7,3 \times 0,65 = 4,7 \text{ кА } (t < 0,05 \text{ с})$$

$$I_{K2(D)} = I_{K2} \times K_{C2} = 7,3 \times 0,74 = 5,4 \text{ кА } (t > 0,05 \text{ с})$$

Определим значение трёхфазного ударного тока. Для этого найдём соотношение  $R/X=12,8/15,3=1,05$ . Ударный коэффициент равен 1,05.

$$I_y = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 7,3 = 10,8 \text{ кА}$$

#### 5.5 Токи короткого замыкания в точке К3

Определим ток короткого замыкания в точке К3.

Ток трёхфазного металлического короткого замыкания в точке К3:

$$I_{K3} = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_c + Z_T + Z_{шп} + KЛ1 + KЛ2)} \quad (32)$$

$$I_{K3} = \frac{400}{\sqrt{3}(1,6 + 16,1 + 6,5 + 4,5 + 6,6)} = 6 \text{ кА}$$

Найдём ток трёхфазного дугового КЗ

$$I_{K33(D)} = I_{K3} \times K_{C1} = 6 \times 0,65 = 3,9 \text{ кА } (t < 0,05 \text{ с})$$

$$I_{K33(D)} = I_{K3} \times K_{C2} = 6 \times 0,74 = 4,4 \text{ кА } (t > 0,05 \text{ с})$$

Определим значение трёхфазного ударного тока. Для этого найдём соотношение  $R_k/X_k = 19,3/15,4 = 1,2$ . Ударный коэффициент равен 1,08.

$$I_y = \sqrt{2} \cdot 1,08 \cdot 6 = 9,1 \text{ кА}$$

$$I_{K4} = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_c + Z_T + Z_{шп} + KЛ1 + KЛ2 + KЛ3)} \quad (33)$$

$$I_{K4} = \frac{400}{\sqrt{3}(1,6 + 16,1 + 6,5 + 4,5 + 6,6 + 3,12)} = 5,58 \text{ кА}$$

Найдем ток трехфазного дугового КЗ

$$I_{K34(D)} = I_{K1} \times K_{C1} = 5,58 \times 0,65 = 3,6 \text{ кА } (t < 0,05 \text{ с})$$

$$I_{K34(D)} = I_{K1} \times K_{C2} = 5,58 \times 0,74 = 4,1 \text{ кА } (t > 0,05 \text{ с})$$

Определим значение трёхфазного ударного тока. Для этого найдём соотношение  $R/X = 25,3/18,3 = 1,38$ . Ударный коэффициент равен 1,08.

$$I_y = \sqrt{2} \cdot 1,08 \cdot 5,58 = 8,5 \text{ кА}$$

## **5.6 Проверка коммутационного оборудования по результатам расчётов токов короткого замыкания**

Проверим отключающую способность выключателей при возникновении коротких замыканий [15].



Автоматический выключатель ШРА1 ВА-51-35М2-500А, уставка электромагнитного расцепителя 2,5 кА. При коротком замыкании (точка К1) ударный ток 17,7 кА. ВА-51-35М2-400А обеспечит защиту от КЗ.

Автоматический выключатель ВА-51-35М2-400А коммутирует питание шинопровода ШРА1. Уставка электромагнитного расцепителя 2,5 кА. При коротком замыкании (точка К2) ударный ток 10,8 кА. ВА-51-35М2-400А обеспечит защиту от КЗ.

Автоматический выключатель ВА-51-35М2-125 коммутирует питание фазовочной установки. Уставка расцепителей токов короткого замыкания: 1500А. При коротком замыкании (точка К3) ударный ток 9,1 кА. Выключатель обеспечивает отключение при КЗ.

Выводы по разделу 5.

В данном разделе выполнен расчёт токов короткого замыкания на стороне 0,4 кВ. Рассчитаны токи на разных расстояниях от питающего трансформатора: на шинопроводе секции, на распределительном устройстве в цеху, в конечной нагрузке. Вычислялись токи дугового КЗ и ударные токи короткого замыкания. На основании расчётов проверены автоматические выключатели на отключающую способность. Выбранные автоматические выключатели срабатывают при значительно меньших токах, чем те, которые могут возникнуть при коротких замыканиях, они соответствуют требованиям.

## 6 Выбор оборудования ПС 110 кВ

В качестве расчетного режима работы принимается выбор и проверка оборудования в цепи ВН и НН двухобмоточного трансформатора по номинальному току устанавливаемого силового трансформатора (25 МВА), с учетом его перегрузки на 40 %.

Производится по следующим параметрам:

- номинальному напряжению;
- току нагрузки.

Ток короткого замыкания (в максимальном режиме) на шинах ОРУ 110 кВ составят 21,76 кА (таблица 17).

Пропускная способность ошиновки присоединения Т-1 на стороне 110 кВ, при коэффициенте допустимой длительной перегрузки трансформаторов 0,95 при ТНВ 25 °С и при нормальном режиме нагрузки, не превышает 76,3 А при  $t=25^{\circ}\text{C}$ , в соответствии с п. 1.3.22 ПУЭ 7изд [1].

Максимальный рабочий ток присоединений определяется с учётом наличия резервирования в схеме составляет  $I_{max} = 1842\text{ A}$ .

Таким образом, для проектируемого оборудования приняты номинальные параметры:  $U_{ном.} = 110\text{ кВ}$

$I_{ном.} =$  не менее 2000 А ( $2000\text{ A} > 184\text{ A}$ );

$I_{ном.откл} =$  не менее 31,5 кА ( $31,5\text{ кА} > 21,76\text{ кА}$ );

$I_{ном.терм} =$  не менее 31,5 кА ( $31,5\text{ кА} > 21,76\text{ кА}$ );

$I_{ном.дин} =$  не менее 80 кА.

Выбор и проверка основного электротехнического оборудования производится в соответствии с РД 153 34.0 20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [1].

Выбор по условиям рабочих продолжительных режимов:

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети} \quad (34)$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном.расч}} \quad (35)$$

Проверка на электродинамическую стойкость  $i_{\text{выкл}}$ :

$$i_{\text{выкл}} \geq i_{\text{уд}} \quad (36)$$

Ударный ток в точке к.з.  $i_{\text{уд}}$ :

$$i_{\text{уд}} \geq \sqrt{2} \cdot I_{\text{п.о.}}^{(3)} \cdot K_{\text{уд}} \quad (37)$$

где  $I_{\text{п.о.}}^{(3)} = I(3)$  – ток короткого 3-х фазного КЗ в максимальном режиме (таблица 17);

$K_{\text{уд}}$  - ударный коэффициент (принимается в соответствии РД 153 34.0 20.527-98) [1].

Проверка по термической стойкости [3]:

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} \geq B_{\text{к}} = \int^{t_{\text{откл}}} i_{\text{к}}^2 dt \quad (38)$$

где « $I_{\text{терм}}$ » - ток термической стойкости, кА;

$t_{\text{терм}}$  - нормированное допустимое время его протекания, с;

$\int^{t_{\text{откл}}} i_{\text{к}}^2 dt$  - интеграл Джоуля для условий к.з.;

$t_{\text{откл}}$  - полное время отключения короткого замыкания выключателем  $t_{\text{откл}} = t_{\text{собств.}} + t_{\text{рз}}$ , с;

$t_{\text{собств.}}$  - собственное время отключения выключателя, с;

$t_{\text{рз}}$  - полное время действия релейной защиты при к.з., с» [3].

Проведем выбор и проверку высоковольтных выключателей.

Пример расчета приведен для высоковольтного выключателя 110 кВ трансформатора Т-1.

Проектом предусматривается элегазовый выключатель (ВГТ-110Ш-40/2000 УХЛ1) с номинальными параметрами:  $U_{\text{ном}}=110$  кВ,  $I_{\text{ном}}=2000$  А,  $I_{\text{откл}}=40$  кА,  $t_{\text{терм}}=3$  с,  $I_{\text{дин.ст.}}=102$  кА,  $t_{\text{собств.}}=0,055$  с.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания на шинах 110 кВ ПС:

$$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 21,76 \text{ кА}$$

Ударный коэффициент  $K_{\text{уд}}$ :

$$K_{\text{уд}} = 1 + e^{-0.01/0.02} = 1,6.$$

Ударный ток  $i_{\text{уд}}$ :

$$i_{\text{уд}} \geq \sqrt{2} \cdot I_{\text{п.о.}}^{(3)} \cdot K_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 21,76 \cdot 1,6 = 49,2 \text{ кА}.$$

Наибольший пик тока электродинамической стойкости выключателя составляет 102 кА.

$$i_{\text{выкл}} = 102 \text{ кА} \geq 49,2 \text{ кА}$$

Ток термической стойкости для выключателя составляет 40 кА, а время протекания тока термической стойкости 3 с. В качестве расчетного времени отключения КЗ принимается сумма времен действия основной защиты и времени отключения выключателя, где  $t_{\text{рз}}=0,1$  с - время действия основной релейной защиты при КЗ [1].

Полное время отключения короткого замыкания:

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{собств.}} + t_{\text{рз}} = 0,055 + 0,1 = 0,155 \text{ с.}$$

Допустимое для выключателя значение интеграла Джоуля следует определять по формуле (38):

$$\begin{aligned} B_{\text{тер.доп}} &= I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}; \\ B_{\text{тер.доп}} &= I_{\text{п.о.}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a) = 21,76^2 \cdot (0,155 + 0,02) = 82,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \\ 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} &\geq 82,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Выбор по коммутационной способности:

Начальное действующее значение периодической составляющей тока включения для выключателя составляет 40 кА.

$$\begin{aligned} I_{\text{вкл}} &= 40 \text{ кА} > 21,76 \text{ кА}; \\ I_{\text{пр.скв}} &= 102 \text{ кА} > 49,2 \text{ кА}. \end{aligned}$$

Проверка по коммутационной способности:

$$\tau = \tau_{\text{з.мин}} + \tau_{\text{собств}} = 0,1 + 0,055 = 0,155 \text{ с.}$$

где  $\tau_{\text{з.мин}}$  - минимальное время действия релейной защиты при КЗ, 0,1 с.

$$\beta_{\text{норм}} = e^{-22,5 \cdot 0,155} = 0,031;$$

$$i_{\text{а.норм}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{норм}} \cdot I_{\text{откл.норм}} = \sqrt{2} \cdot 0,031 \cdot 40 = 1,754 \text{ кА};$$

$$i_{\text{а.}\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 21,76 \cdot e^{-\frac{0,155}{0,02}} = 0,013 \text{ кА}$$

$$i_{\text{а.норм}} = 1,754 > 0,013 \text{ кА}$$

Выключатель 110 кВ ВГТ-110Ш-40/2000 УХЛ1 удовлетворяет условиям выбора и проверки. Аналогичные расчеты проведем для вакуумных выключателей 10 кВ. Результаты занесем в таблицу 18.

Таблица 18 – Расчетные данные

| Наименование присоединения | Расчётные данные |                |                 |                 |                                |                |                  |
|----------------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|----------------|------------------|
|                            | $U_{н.с},$<br>кВ | $I_{нр},$<br>А | $I_{по},$<br>кА | $i_{уд},$<br>кА | $B_{к},$<br>кА <sup>2</sup> ·с | $i_{т},$<br>кА | $t_{откл},$<br>с |
| ОРУ 110 кВ                 |                  |                |                 |                 |                                |                |                  |
| ВВ 110 кВ<br>Т-1, Т-2      | 110              | 184            | 21,76           | 49,2            | 82,8                           | 0,013          | 0,155            |
| ЗРУ 10 кВ                  |                  |                |                 |                 |                                |                |                  |
| ВВ 10 кВ Т-1, Т-2          | 10               | 2023           | 8,805           | 24,2            | 28,6                           | 0,005          | 0,14             |
| СВ 10 кВ                   | 10               | 2023           | 8,805           | 24,4            | 28,6                           | 0,005          | 0,14             |
| ОЛ 10 кВ                   | 10               | 1000           | 8,805           | 24,2            | 28,6                           | 0,005          | 0,34             |

Таблица 19 – Каталожные данные

| Наименование присоединения | Каталожные данные |                 |                   |                  |                  |                     |                                |
|----------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------------------|
|                            | $U_{ном},$<br>кВ  | $I_{ном},$<br>А | $I_{откл},$<br>кА | $I_{тер},$<br>кА | $i_{дин},$<br>кА | $i_{да.ном},$<br>кА | $B_{к},$<br>кА <sup>2</sup> ·с |
| ОРУ 110 кВ                 |                   |                 |                   |                  |                  |                     |                                |
| ВВ 110 кВ<br>Т-1, Т-2      | 110               | 2000            | 40                | 40               | 102              | 1,754               | 4800                           |
| ЗРУ 10 кВ                  |                   |                 |                   |                  |                  |                     |                                |
| ВВ 10 кВ Т-1, Т-2          | 10                | 2500            | 8,805             | 31,5             | 31,5             | 80                  | 2977                           |
| СВ 10 кВ                   | 10                | 2500            | 8,805             | 31,5             | 31,5             | 80                  | 2977                           |
| ОЛ 10 кВ                   | 10                | 1000            | 8,805             | 20               | 20               | 50                  | 1200                           |

В таблице 19 представлены каталожные данные (паспортные данные от производителя).

Выбор разъединителей осуществляется по выражениям 34-38 данной работы. Результаты расчетов сведем в таблицу 20.

Таблица 20 - Проверка параметров и характеристик разъединителей

| Тип Р,<br>место<br>установки | Расчетные данные |           |          |                    | Паспортные данные |           |           |            |               |                   |
|------------------------------|------------------|-----------|----------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|------------|---------------|-------------------|
|                              | $U_{сет}$        | $I_{ном}$ | $i_{уд}$ | $B_k$              | $U_{ном}$         | $I_{ном}$ | $I_{тер}$ | $t_{терм}$ | $I_{дин.ст.}$ | $B_{тер.доп}$     |
|                              | кВ               | А         | кА       | кА <sup>2</sup> ·с | кВ                | А         | кА        | сек        | кА            | кА <sup>2</sup> с |
| Р 110 кВ                     | 110              | 184       | 49,2     | 82,8               | 110               | 1000      | 40        | 3          | 100           | 4800              |
| ЗОН 110 кВ                   | 110              | -         | 1,7      | 0,1                | 110               | 400       | 6,3       | 3          | 15,75         | 119               |

Расчетные условия для выбора и проверки трансформаторов тока осуществляется по выражениям 34-38 данной работы. Результаты расчетов сведем в таблицу 21.

Таблица 21 – Расчетные условия для выбора трансформаторов тока

| Тип ТТ,<br>место<br>установки | Расчетные данные |           |          |                    | Паспортные данные |           |           |            |               |                   |
|-------------------------------|------------------|-----------|----------|--------------------|-------------------|-----------|-----------|------------|---------------|-------------------|
|                               | $U_{сети}$       | $I_{ном}$ | $i_{уд}$ | $B_k$              | $U_{ном}$         | $I_{ном}$ | $I_{тер}$ | $t_{терм}$ | $I_{дин.ст.}$ | $B_{тер.доп}$     |
|                               | кВ               | А         | кА       | кА <sup>2</sup> ·с | кВ                | А         | кА        | сек        | кА            | кА <sup>2</sup> с |
| ТТ 110 кВ                     | 110              | 184       | 49,2     | 82,8               | 110               | 300-1200  | 25        | 1          | 64            | 625               |
| ТТ ВВ 10<br>кВ Т-1, Т-2       | 10               | 2023      | 24,2     | 28,6               | 10                | 2500      | 50        | 3          | 100           | 7500              |
| ТТ СВ 10<br>кВ                | 10               | 2023      | 24,2     | 28,6               | 10                | 2500      | 50        | 3          | 100           | 7500              |
| ТТ ОЛ 10<br>кВ                | 10               | 200-400   | 24,2     | 28,6               | 10                | 200-400   | 12-18     | 3          | 53-80         | 432-972           |
| ТТ ДГР-1,<br>ДГР-2            | 10               | 27        | 24,2     | 28,6               | 10                | 300       | 12,6      | 3          | 34,2          | 476               |

По результатам расчетов установлено, что выбранное электротехническое оборудование соответствует требованиям РД 153 34.0 20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [21] и будут рекомендованы к установке.

Выводы по разделу 6.

В данном разделе подробно рассмотрен вопрос выбора электротехнического оборудования в соответствии с актуальными требованиями НТД.

На первоначальном этапе в разделе рассмотрен выбор элегазовых выключателей 110 кВ и вакуумных выключателей 10 кВ, по результатам расчетов по стороне 110 кВ выбраны современные колонковые элегазовые выключатели тип ВГТ-110Ш-40/2000 УХЛ1, по стороне 10 кВ вакуумные выключатели ВВ/TEL-10-31,5/1600 У2, ВВ/TEL-10-20/1000 У2. Далее был рассмотрен вопрос выбора разъединителей, трансформаторов тока/

На основании проведенных в разделе расчетов установлено, что оборудование и ошиновки, рекомендуемые к установке на подстанции, устойчивы к действию токов КЗ и обладают достаточной пропускной способностью в соответствии с максимальными рабочими токами.

Выбор оборудования производился по следующим параметрам: номинальному напряжению, току нагрузки и по возможности отключения выключателями, устанавливаемых в ОРУ 110 и ЗРУ 10 кВ, тока КЗ на шинах РУ соответствующего напряжения.



## 7 Релейная защита трансформаторов ТМГ-2500/10/0,4

Для защиты ТМГ-2500/10/0,4 в КТПБ 10 кВ выбираем блок релейной защиты Sepam.

Рассчитываем уставку токовой отсечки на стороне 10 кВ по выражению (39) [9].

$$I_{сз1} = k_{отс} \times I_{к1-0,4} \quad (39)$$

где  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки, для SEPAM согласно рекомендациям, выбирается от 1,1 до 1,15 [9]:

$$I_{сз1} = 1,12 \times 380 = 425 \text{ А.}$$

Рассчитываем бросок тока намагничивания трансформатора по стороне 10 кВ по выражению (40).

$$I_{сз2} = k_{отс} \times I_{ном} \times k_{бр}. \quad (40)$$

где  $k_{бр} = 5$ , значение броска тока намагничивания по стороне 10 кВ.

$$I_{сз2} = 1,12 \times 144 \times 5 = 806 \text{ А.}$$

За расчётный ток принимаем наибольший ток СЗ. Выбираем уставки защиты.

$$I_{ср} = 806 \text{ А.}$$

Чувствительность защиты вычислим по формуле [9]:

$$K_{ч} = \frac{9500}{806} = 11.$$

$K_{\text{ч}}$  обеспечивается и соответствует требованиям ПУЭ должен быть больше 2 [9].

Максимальная токовая защита рассчитывается по формуле []:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{н}} \times k_{\text{сзп}} \times I_{\text{макс}}}{k_{\text{в}}} \quad (41)$$

где  $k_{\text{н}}$  – коэффициент надёжности, для SEPAM равен 1,1

$k_{\text{в}}$  – коэффициент возврата, для SEPAM равен 0,935

$k_{\text{сзп}}$  – коэффициент запуска, принимается 1,2...1,3.

$$I_{\text{сз}} = \frac{1,1 \times 1,2 \times 144}{0,935} = 203 \text{ А.}$$

Выдержка времени 500 мс

Выводы по разделу 7.

Для защиты трансформаторов на цеховых ТП выбран блок релейной защиты типа Seram 1000+ T40. Произведена защита трансформаторов от токов короткого замыкания. Также выполнена проверка работы защиты от бросков тока намагничивания при постановке трансформатора под напряжения. Его параметры соответствуют требованиям по чувствительности и быстродействию защиты. Выбранная защита позволяет защитить трансформатор от всех видов КЗ.

## 8 Расчёт заземления зданий и сооружений объекта

Для заземления технологических и административных зданий применяем стальные трубы и металлические штыри из отрезков арматуры [7].

Контур заземления монтируется на определённом расстоянии от здания согласно ПУЭ [19]. Размещённые в земле металлические конструкции соединяются проводом с контуром заземления электрического оборудования.

Сопротивление одного элемента-заземлителя рассчитываем согласно выражению (42).

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{2\pi L} \left( \ln \left( \frac{2L}{d} \right) + 0,5 \ln \left( \frac{4T + L}{4T - L} \right) \right) \quad (42)$$

где  $\rho_{\text{ЭКВ}}$  – эквивалентное удельное сопротивление почвы, Ом×м;

$L$  – длина стержня, м;

$d$  – диаметр стержня, м;

$T$  – расстояние от поверхности грунта до середины заземлителя (геометрическая середина стержня), м.

Выбираем длину стержня  $L = 5$  м с диаметром  $d = 0,012$  м;

Для расчёта системы заземления производственного здания являются: длина стержней равным 5 м; м диаметр –  $d = 0,012$  м;  $T = 3$  м. При расчёте удельное сопротивление для суглинка составляет 100 Ом/м.

Вычислим сопротивление одного заземлителя.

$$R_0 = \frac{100}{6,28 \times 5} \left( \ln \left( \frac{10}{0,012} \right) + 0,5 \ln \left( \frac{6 + 5}{12 - 5} \right) \right) \approx 22 \text{ Ом.}$$

На заводе применяется сеть электроснабжения с номинальным напряжением 400 В, на КТПБ присутствует высокое напряжение со стороны

питающих КЛ 10 кВ. Сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом, в соответствии с ГОСТ 464-79.

При расчёте примем величиной сопротивления заземления равным 1 Ом. Число вертикальных заземлителей рассчитываем по выражению (43):

$$N_c = \frac{R_0}{n_c \times R_3}, \quad (43)$$

где  $n_c = 0,18$  – коэффициент использования заземлителя.

$$N_c = \frac{22}{0,78 \times 1} = 122$$

Выводы к разделу 8.

Для выполнения контура заземления производственных и административного здания выполнен расчёт параметров заземляющего устройства. При сопротивлении заземления в 1 Ом необходимо установить в землю по периметру здания стальные штыри длиной 5 метров и диаметром 1,2 см, расчётное количество штырей составило 122 штуки, которые необходимо соединить с заземляющим контуром оборудования.

## 9 Молниезащита производственного здания

Необходимо рассчитать высоту молниеотводов  $h$  двойного стержневого молниеотвода и построить зону защиты на высоте  $h_x$  защищаемого объекта. Молниеотводы одинаковой высоты устанавливаются на крыше защищаемого объекта [29].

Технические характеристики защищаемого объекта указаны в таблице 22.

Таблица 22 – Параметры здания

| Ширина объекта $a$ , м | Длина объекта $b$ , м | Высота объекта $h_x$ , м | Надежность защиты $P_z$ |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| 54                     | 60                    | 12                       | 0,95                    |

Защищаемый объект имеет длину 60 м, ширину 54 м и высоту 12 м. Молниеотводы расположены на крыше, то есть самая узкая часть защищенной области на высоте крыши (16 м) должна быть более 31 м [7].

Размеры горизонтальных сечений зоны вычисляются по следующим формулам, общим для всех уровней надежности защиты:

- максимальная полуширина зоны  $r_x$  в горизонтальном сечении на высоте  $h_x$ :

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} \quad (44)$$

- ширина горизонтального сечения в центре между молниеотводами  $2r_{cx}$  на высоте  $h_x \leq h_c$ :

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c} \quad (45)$$

При расположении молниеотводов на крыше будем рассматривать зону защиты, достаточную для размеров крыши, и примем  $h_x = 0$ . Тогда  $r_x = r_0$ ,  $r_{cx} = r_0$ .

Поскольку ширина строения 54 м, примем  $r_{cx} = 54$  м;  $r_0 = 54$  м

В соответствии с СО 153-34.21.122 – 2003 стандартной зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h$  является круговой конус высотой  $h_0 < h$ , вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода. Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса  $h_0$  и радиусом конуса  $r_0$ .

Расчётные данные для расчёта зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода указаны в таблице 23.

Расчётные данные для расчёта зоны защиты двойного стержневого молниеотвода указаны в таблице 24.

Таблица 23 – Расчёт зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

| Надёжность защиты $P_z$ | Высота молниеотвода $h$ , м | Высота конуса $h_0$ , м | Радиус конуса $r_0$ , м       |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 0,95                    | От 0 до 100                 | $0,85h$                 | $1,2h$                        |
|                         | От 100 до 150               | $0,85h$                 | $[1,2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$ |

$$h = \frac{r_0}{1,2} = \frac{54}{1,2} = 45 \text{ м.}$$

Построение внешних областей зон двойного молниеотвода (полуконусов с габаритами  $h_0$ ,  $r_0$ ) производится по формулам для одиночных стержневых молниеотводов [14]. Размеры внутренних областей определяются параметрами  $h_0$  и  $h_c$ , первый из которых задает максимальную высоту зоны непосредственно у молниеотводов, а второй - минимальную высоту зоны посередине между молниеотводами. При расстоянии между молниеотводами

$L \leq L_c$  граница зоны не имеет провеса ( $h_c = h_0$ ). Для расстояний  $L_c \leq L \leq L_{max}$  высота  $h_c$  определяется по выражению (46).

$$h_c = \frac{L_{max} - L}{L_{max} - L_c}. \quad (46)$$

Входящие в него предельные расстояния  $L_{max}$  и  $L_c$  вычисляются по эмпирическим формулам.

Таблица 24 – Расчёт параметров зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

| Надёжность защиты $P_3$ | Высота молниеотвода $h$ , м | $L_{max}$ , м                      | $L_c$ , м |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------|
| 0,95                    | От 0 до 30                  | $5,75h$                            | $2,5h$    |
|                         | От 30 до 100                | $[5,75-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ | $2,5h$    |
|                         | От 100 до 150               | $5,5h$                             | $2,5h$    |

Максимальное расстояние между двумя молниеотводами, при котором не будет провеса защиты между стержнями составит  $2,5 \cdot 45 = 112$  м. Длина крыши всего 60 метров, поэтому расстояние уменьшим.

Выбираем параметры двойного молниеотвода  $L = 50$  м,  $h=45$ м.

Выводы к разделу 9.

В этом разделе рассчитаны параметры молниеотвода, устанавливаемого на крыше производственного здания. Выбран двойной молниеотвод, длина каждой мачты, установленной на крыше, составляет 26 м, расстояние между мачтами 40 м. Молниеотводы соединены с защитным заземлением здания.

## Заключение

При выполнении выпускной квалификационной работы ставилась задача разработки решений по созданию надёжной и энергоэффективной системы электроснабжения предприятия.

В качестве объекта электроснабжения выбрано предприятие по производству пищевых продуктов с полным производственным циклом. Исходными данными для расчётов является план технологических помещений предприятия, расположение оборудования, номенклатура оборудования, мощность, потребляемая производственным оборудованием.

Электроэнергия завода расходуется на электропитание цехового оборудования включающее в себя установки по производству аминокислот, вспомогательное оборудование, а также освещение технологических и административных помещений.

Нормы освещённости определены на основании санитарно-гигиенических норм. В соответствии с этими нормативами выбраны типы светильников и их количество для каждого помещения, выполнен расчёт потребления электроэнергии для освещения.

В процессе работы выполнены расчёты электрических нагрузок, распределение нагрузок по территории предприятия включающий в себя определение центра нагрузок, в соответствии с полученными данными выбрано место для установки ГПП 110/10 кВ и семи цеховых ТП 10/0,4 кВ.

На основании расчёта суммарной потребляемой мощности определены типы трансформаторов и их количество с требуемой номинальной мощностью. Поскольку предприятие относится ко I группе потребителей электроэнергии, для электроснабжения выбрана двухтрансформаторная ГПП 110/10 кВ, которая по двум ВЛ 110 кВ подключается к с.ш. 110 кВ ПС 220 кВ Хопер.



Расположение подстанции выбрано с учётом требований предпроектных решений. Нагрузка завода при расчёте равномерно распределена между секциями шин 0,4 всех цеховых ТП 10/0,4 кВ.

Для снижения потерь в сети 10 кВ выбраны компенсирующие конденсаторные установки ВАРНЕТ-АС.

Разработана электрическая принципиальная схема электроснабжения, схема расположения распределительных устройств по территории предприятия, выбраны кабели питания и автоматы для защиты оборудования от коротких замыканий. Выполнена проверка соответствия автоматов своему назначению, для этого проведены расчёты токов коротких замыканий на разных участках цепи электроснабжения. Автоматические выключатели срабатывают при токах, значительно меньших, чем токи короткого замыкания, что говорит об эффективности и надёжности их применения.

Проведены расчеты выбора электрооборудования электрической части ГПП 110/10 кВ.

Выполнен расчёт молниезащиты предприятия, выбраны размеры и расположение молниеотводов по территории завода.

Для защиты трансформаторов цеховых ТП используется реле Seram. Расчёт релейной защиты показывает, что применение данного типа реле эффективно для защиты выбранных трансформаторов от всех видов КЗ с блокировкой от токов намагничивания.

Техническое задание, поставленное для выполнения выпускной квалификационной работы, выполнено в полном объеме.

## Список используемой литературы

1. Абрамова Е.Я., Алешина С.К., Чиндяскин В.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие по курсу ЭПП. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2015. 103 с.
2. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование: учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.
3. Вакуумные Выключатели 6-20 кВ [Электронный ресурс] : Режим доступа : URL <https://www.tavrida.com/ter/support/documents/1/> (дата обращения: 12.03.2024)
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko\\_EUMI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf) (дата обращения: 27.11.2023).
5. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko\\_EUMI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf) (дата обращения: 02.02.2024).
6. ГОСТ Р 59232-2020 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматической частотной разгрузки. Нормы и требования», утвержденный приказом Росстандарта от 30.11.2020 № 1219-ст
7. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.
9. Мельников М.А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2001. 140 с.

10. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы. М., Энергия, 2012. 450 с.

11. Михайлов В.Е. Современная электросеть. СПб. : Наука и Техника, 2013. 256 с.

12. Правила разработки и утверждения документов перспективного развития электроэнергетики : утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2022 года № 2556 «Об утверждении Правил разработки и утверждения документов перспективного развития электроэнергетики, изменении и признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации». – Текст : электронный. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202301230025> (дата обращения: 30.03.2024).

13. Российская Федерация. М-во энергетики. Приказы. Об утверждении требований к перегрузочной способности трансформаторов и автотрансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики, и ее поддержанию и о внесении изменений в Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные Приказом Минэнерго России от 19 июня 2003 г. № 229 : Приказ М-ва энергетики Российской Федерации от 8 февраля 2019 г. № 81 : зарегистрирован М-вом юстиции 28 марта 2019 года, регистрационный № 54199. – Текст : электронный. – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 25.04.2024).

14. Савоськин В. С. Электроснабжение. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2018. 256 с.

15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий [Электронный ресурс]: учебник. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА М, 2019. 405 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003810>.

16. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению: Учебное пособие / В.П. Шеховцов. – М.: ФОРУМ, 2011. – 136 с.
17. СНИП 23-05-95. Строительные нормы и правила российской федерации. Естественное и искусственное освещение. Дата введения 1996-01-01.
18. Герасимов, А.И. Проектирование электроснабжения цехов промышленных предприятий / А.И. Герасимов, С.В. Кузьмин. – Красноярск: СФУ, 2014. – 304 с.
19. Правила устройства электроустановок ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2018. 462 с. Сибикин, Ю.Д. Основы электроснабжения объектов: Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. – М.–Берлин: Энергия, Директ-Медиа, 2014. – 328 с.
20. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
21. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения: учеб. пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017. 127 с
22. Производство трансформаторов, подстанций, электрооборудования 0,4-35 кВ. <http://trf-ural.ru/files/catalog/upload.pdf>.
23. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие / В.В. Вахнина. – Тольятти: ТГУ, 2011. – 69 с
24. Установки компенсации реактивной мощности серии "ВАРНЕТ". [https://websor.ru/oborudovanie-i-materialy/objie\\_ukrm/](https://websor.ru/oborudovanie-i-materialy/objie_ukrm/).
25. Шлейников, В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: Учебное пособие / В.Б. Шлейников, Т.В. Сазонова. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 110 с.
26. Сибикин, Ю.Д. Основы электроснабжения объектов: Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. – М.–Берлин: Энергия, Директ-Медиа, 2014. – 328 с.

27. Секретарев, Ю. А. Надежность электроснабжения: Учебное пособие / Ю. А. Секретарев. – Новосибирск: НГТУ, 2013. – 104 с.
28. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты: учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 304 с
29. ГОСТ Р 56303-2014 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Нормальные схемы электрических соединений объектов электроэнергетики. Общие требования к графическому исполнению», утвержденный и введенный в действие приказом Росстандарта от 12.12.2014 № 1984-ст
30. Шеховцов, В.П. Расчёт и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования: Учебное пособие / В.П. Шеховцов. – М.: ФОРУМ, 2011. – 105 с.
31. IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 551. NY: IEEE, 2013. 300 p.
32. Khan S., Khan S., Ahmed G. Industrial power systems. Boca Raton: CRC Press, 2016. 488 p.
33. Usman M., Coppo M., Bignucolo F., Turri R., Cerretti, A. A novel methodology for the management of distribution network based on neutral losses allocation factors // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №1. pp. 613-622.
34. Zhang Q., Tang W., Zaccour G., Zhang J. Should a manufacturer give up pricing power in a vertical information-sharing channel // European Journal of Operational Research. 2019. №276, pp. 910-928.