

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

Электроэнергетика
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н.Чистяков
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2017г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код - наименование направления

Электроснабжение цеха №3, №4 ООО «ПК «Саянмрамор»
тема

Руководитель _____ «__» ____ 2017г. доцент каф. ЭЭ, к.т.н. Е.В.Платонова
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ «__» ____ 2017г. Е.К.Золотухин
подпись дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ «__» ____ 2017г. А.В.Коловский
подпись, дата инициалы, фамилия

Абакан 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт –
филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н.Чистяков
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2017г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Золотухину Евгению Константиновичу
(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭн-12-01 (3-12) Направление (специальность)
номер
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код, наименование

Тема выпускной квалификационной работы Электроснабжение цеха №3, №4
ООО «ПК «Саянмрамор»

Утверждена приказом по университету №145 от 28.02.2017г.

Руководитель ВКР Платонова Е.В., к.т.н. доцент каф. «Электроэнергетика»
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР генеральный план камнеобрабатывающего завода
цеха №3, №4 ООО «ПК «Саянмрамор», ведомость электрических нагрузок
камнеобрабатывающего завода цеха №3, №4 ООО «ПК «Саянмрамор».

Перечень разделов ВКР:

Введение

- 1 Аналитическая стадия проектирования
 - 2 Расчет электрической нагрузки предприятия
 - 3 Описание схемы внешнего электроснабжения
 4. Выбор параметров схемы канализации электроэнергии на предприятии
 - 5 Выбор оборудования и его проверка по токам короткого замыкания
 - 6 Качество электроэнергии в сети
 - 7 Расчет осветительной сети цеха №3, №4
 - 8 Разработка вариантов схем цехового электроснабжения
- Заключение

Список используемых источников

Перечень графического материала:

1. План цеха №3, №4 с разводкой силовой и осветительной сети
2. Однолинейная схема электроснабжения
3. Анализ качества напряжения

Руководитель ВКР _____ /Е.В. Платонова
подпись инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению _____ /Е.К. Золотухин
подпись инициалы, фамилия

15 марта 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему: «Электроснабжение цеха №3, №4 ООО «ПК «Саянмрамор» содержит 80 листов текстового документа, 33 использованных источника, 3 листа графического материала.

МЕТОД РАСЧЕТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ, СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, РАСЧЕТ ТОКОВ, КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ, КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, ОБСЛУЖИВАНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Проектируемый объект - ООО «ПК «Саянмрамор

Цели:

- проектирование наиболее экономичной и рациональной системы электроснабжения для 0,4 кВ;
- расчет защитных характеристик оборудования,
- расчет кабельных линии 6кВ и 0,4 кВ и т.д;
- анализ эффективности затрат на текущий ремонт и техническое обслуживание электрических сетей;

В результате разработки выпускной квалификационной работы проведён расчёт системы электроснабжения объекта 0,4 кВ, из рассмотренных вариантов выбрана наиболее оптимальная схема, обоснованная надежностью и меньшими экономическими затратами. Выполнен анализ эффективности затрат на текущий ремонт и техническое обслуживание электрических сетей, разработаны предложения по повышению эффективности затрат.

Спроектирована система электроснабжения ООО «ПК «Саянмрамор, с учетом современных требований, таким как надежность, экономичность, безопасность для человека и окружающей среды. Обосновано напряжение 0,4 кВ, рассчитаны электрические нагрузки по уровням электроснабжения. Проведены светотехнический и электротехнический расчеты освещения. Выбранное электротехническое оборудование проверено на действие токов короткого замыкания, а высоковольтное оборудование проверено на термическую стойкость.

THE ABSTRACT

Graduation qualification work on the topic: "Power supply of shop № 3, № 4" PC "Sayanmramor" LLC contains 80 sheets of a text document, 33 used sources, 3 sheets of graphic material.

METHOD OF CALCULATED COEFFICIENTS, ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM, CURRENT CALCULATION, SHORT CIRCUIT, SELECTION OF EQUIPMENT, ELECTRICITY QUALITY, RELAY PROTECTION, MAINTENANCE, ENERGY SAVING, ENERGY EFFICIENCY.

Projected object - LLC "PC" Sayanmarmar

Objectives:

- designing the most economical and rational power supply system for 0.4 kV;
- calculation of protective characteristics of equipment,
- calculation of cable lines 6kV and 0.4 kV, etc;
- analysis of the cost effectiveness for the current repair and maintenance of electrical networks;

As a result of the development of the final qualification work, a 0.4 kV electricity supply system was calculated, from the options considered the most optimal scheme was chosen, based on reliability and lower economic costs. The analysis of the cost effectiveness for the current repair and maintenance of electrical networks, developed proposals to improve the cost-effectiveness.

The electric power supply system of Sayanmramor PC has been designed, taking into account modern requirements, such as reliability, economy, safety for humans and the environment. The voltage 0,4 kV is justified, electric loads are calculated on the levels of power supply. Lighting and electrical engineering calculations of illumination are carried out. The selected electrical equipment has been tested for short-circuit currents, and high-voltage equipment has been tested for thermal stability.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Аналитическая стадия проектирования	
1.1 Характеристика объекта.....	
2 Расчет электрической нагрузки	
3 Описание схемы внешнего электроснабжения.....	
4 Выбор параметров схемы канализации электроэнергии на предприятии.....	
4.1 Выбор кабелей, питающих КТП.....	
5 Выбор оборудования и его проверка по токам короткого замыкания.....	
5.1 Расчет токов КЗ в сети напряжением выше 1000 В.....	
5.2 Выбор оборудования.....	
5.3 Проверка оборудования по токам КЗ.....	
6 Качество электроэнергии в сети напряжением выше 1000 В.....	
6.1 Расчет потерь напряжения в сети напряжением выше 1000 В и цеховых трансформаторах.....	
7 Расчет осветительной сети цеха №3, №4 камнеобрабатывающего завода ООО «ПК Саянмрамор».....	
7.1 Светотехнический и электротехнический расчет осветительной сети.....	
7.1.1 Светотехнический расчет осветительной сети.....	
7.1.2 Расчёт аварийного освещения.....	
7.2 Электротехнический расчет осветительной сети.....	
7.2.1 Расчёт рабочего освещения.....	
7.2.2 Расчёт аварийного освещения.....	
8 Разработка вариантов схем цехового электроснабжения	
8.1 Определение расчетных электрических нагрузок и пиковых токов для выбора параметров защитных аппаратов и токоведущих элементов цеховой сети.....	
8.1.1 Определение расчетных электрических нагрузок и пусковых токов первого уровня электроснабжения.....	
8.1.2 Определение расчетных электрических нагрузок и пиковых токов методом коэффициентов расчетной активной нагрузки (в соответствии с РТМ 36.18.32.4-92) для выбора параметров защитных аппаратов и токоведущих элементов цеховой сети.....	
8.2 Расчет параметров элементов электроснабжения для вариантов схем электроснабжения цехов №3, №4 ООО «ПК «Саянмрамор».....	
8.2.1 Выбор марок распределительных пунктов и шинопроводов.....	
8.2.2 Выбор параметров коммутационно – защитных аппаратов уставок их защиты.....	
8.2.3 Выбор сечений проводов и кабельных линий.....	
8.3 Техничко-экономическое сравнение вариантов схемы цеховой	

сети.....	
8.4 Проверка оборудования в сети напряжением ниже 1000 В на отключающую способность и чувствительность к токам КЗ.....	
8.4.1 Расчет токов трехфазного к.з. в сети напряжением ниже 1000 В.....	
8.5.2 Проверка защитных аппаратов сети напряжением ниже 1000 В на отключающую способность.....	
8.5.3 Расчет токов однофазного к.з. в сети напряжением ниже 1000 В.....	
8.5.4 Проверка защитных аппаратов сети напряжением ниже 1000 В на чувствительность к токам КЗ.....	
8.5 Расчет потерь напряжения в цеховой сети.....	
8.6 Анализ качества напряжения цеховой сети и расчет отклонения напряжения для характерных режимов силовых электроприемников (самого мощного и самого удаленного).....	
8.7 Конструктивное исполнение цеховой сети.....	
Заключение.....	
Список использованных источников.....	

ВВЕДЕНИЕ

Технический прогресс в промышленности тесно связан с созданием и внедрением новейшего оборудования с улучшенными энергетическими характеристиками и большой мощностью. Внедрение оборудования приводит к росту электропотребления. Тенденция роста потребления электрической энергии будет продолжаться и в дальнейшем. Это обуславливает дальнейшее совершенствование систем электроснабжения.

Непрерывное развитие и усложнение техники и технологии вызывают необходимость в решении ряда сложных научно-технических задач, таких как:

Максимальное уменьшение разветвленности электрических сетей на основе приближения источников питания к центрам электрических нагрузок и применения радиальных схем распределения электрической энергии;

Разработка научно-обоснованных руководящих и методических положений по определению электрических нагрузок предприятий;

Совершенствование существующих, разработка и промышленное внедрение принципиально новых способов и средств защиты обслуживающего и ремонтного персонала от поражения электрическим током;

Разработка и промышленное внедрение новых и современных средств телеуправления, телесигнализации и дистанционного контроля в системах электроснабжения предприятий.

Дальнейшее совершенствование систем электроснабжения должно увязываться с совершенствованием технологии работ и новыми требованиями к электроснабжению.

Длительное время задачи электроснабжения промышленных предприятий решались путем рассмотрения и расчетов каждого элемента системы электроснабжения. Определялись токи нагрузки каждого электроприемника, группы электроприемников, питающихся от одного силового распределительного шкафа, цеховой трансформаторной подстанции и т. д. до цеха и предприятия в целом. Однако поэтапный ввод производственных мощностей, усложнение систем электроснабжения, рост количества элементов, их единичной и суммарной мощности привели к тому, что решения по электроснабжению предприятий в целом (номинальное напряжение, число и мощность источников питания, их размещение и др.) стали принимать задолго до выработки решений собственно по схеме распределения электроэнергии на предприятии и по цеховым электрическим сетям (для питания конечных электроприемников). Многие физические понятия становятся при этом условными. Таким, например, является расчетный ток нагрузки цеха, так как физически нет кабеля, по которому проходит данный ток (современный цех получает энергию от нескольких цеховых трансформаторных подстанций, каждая из которых питается своим кабелем).

В связи с этим возникла необходимость дать качественную характеристику этого процесса и описать его количественно. Наряду с

устоявшимися терминами и понятиями введем определение электрического хозяйства промышленных предприятий, представляющего совокупность генерирующих, преобразующих, передающих электроустановок, посредством которых осуществляется снабжение предприятия электроэнергией и эффективное использование ее в процессе производства. Электрическое хозяйство включает в себя собственно электроснабжение, силовое электрооборудование и автоматизацию, электроосвещение, эксплуатацию и ремонт электрооборудования. Эффективное функционирование электрического хозяйства предприятий невозможно без планирования и прогнозирования развития и решения задач экономии электрической энергии.

Настоятельной необходимостью является изучение системных свойств формирования и развития электрического хозяйства промышленных предприятий, учет которых при проектировании новых объектов может существенно повысить качество принимаемых решений. Характеристику электрического хозяйства предприятий и их количественную оценку можно дать с помощью системы электрических показателей, отражающих особенности каждого производства, динамику изменения параметров электропотребления, рост численности электротехнического персонала, изменения электровооруженности труда во времени и др.

Представляется необходимым дать классификацию системы электроснабжения по уровням в зависимости от количества элементов системы, их суммарной мощности, номинального напряжения. Такая классификация существует в реальных условиях проектирования и эксплуатации электроустановок. Так, «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ) [20] разделяют электроустановки по номинальному напряжению на 2 группы: до и выше 1 кВ. В условиях эксплуатации электроустановки напряжением до 1 кВ обслуживают электрики цехов промышленного предприятия, напряжением выше 1 кВ — электротехнический персонал цеха сетей и подстанций.

1 Аналитическая стадия проектирования

1.1 Характеристика объекта

ООО «ПК «Саянмрамор» - современное, активно развивающееся предприятие, оснащенное итальянским оборудованием ведущих фирм-производителей Simes, Gaspari Menotti, Breton. К середине 2002 года был завершен монтаж оборудования, проведены пуско-наладочные работы. В сентябре предприятие начало выполнять первые заказы: изготовление гранитных плит для облицовки зданий.

Выпускаемые изделия из природного камня:

Гранит

- крупноформатные плиты
- плита облицовочная разных фактур отделки поверхности
- Архитектурно-строительные изделия: ступени, столешницы, подоконники
- памятники из гранита

Мрамор

- памятники из мрамора

Все изделия из природного камня (гранит, мрамор) изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТа 23342-91 "Изделия архитектурно-строительные из природного камня"

Сырьевая база постоянно расширяется за счет известных и новых месторождений **гранита и мрамора** Республики Хакасия. Современные технологии, применяемые в производстве изделий из природного камня, и значительные производственные мощности предприятия позволяют выпускать широкий ассортимент изделий из гранита и мрамора. Безупречное качество фактуры поверхности обеспечено оборудованием.

Финансово-экономическая политика и стратегия завода позволяют постоянным клиентам рассчитывать на максимально выгодные условия приобретения изделий из мрамора и гранита, получив дополнительные скидки либо льготные условия платежа.

Камнеобработка — это процесс придания природному камню требуемой формы и внешней отделки (фактуры). Камнеобработка состоит из трех основных операций: распиловки камня на заготовки, окантовки плит (брусков) по размеру или придания камню заданного профиля и фактурной обработки поверхности. На заводе обработка камня ведется на высокоточном итальянском оборудовании: многодисковых и многоштрипсовых распиловочных станках фирмы Gaspari Menotti, полирование — на станках фирм Simes, Breton.



Рисунок 1.1 – Обработка камня на высокоточном итальянском оборудовании

Наряду с линиями автоматической полировки, по необходимости применяется ручная полировка абразивным инструментом. Технологическое оборудование постоянно обновляется. Продукция подвергается строжайшему операционному контролю со стороны специалистов на всех этапах производства.

Количество рабочих смен ООО «ПК Саянмрамор» - 2.

Потребители ЭЭ относятся по надежности и бесперебойности ЭСН к 2 и 3 категории.

Грунт в районе завода- супесь, окружающая среда не агрессивная.

Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 8 и 6 м каждый.

Размеры подробнорассматриваемых цехов №3, №4 – общие: Ах В х Н= 120 х 24 х 10 м.

Мощность электропотребления (Рэп) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане камнеобрабатывающего завода.

Наиболее мощный приемник – № 22 Левибритон 450/312 мощностью 200 кВт. Самый маломощный – №39 сверлильный станок мощностью 5 кВт.

Все приемники рассчитаны на напряжение 0,4 кВ, на переменный трехфазный ток промышленной частотой 50 Гц. Требования к качеству электроэнергии стандартное: отклонение напряжения не должно превышать $\pm 10\%$ согласно ГОСТ Р 32144-2013.

Общая площадь рассматриваемых цехов №3, №4 – $120 \times 24 = 2880 \text{ м}^2$.

Общее количество электроприемников – 43.

2 Расчет электрической нагрузки

Расчет выполняется по форме Ф636-92 [8]. Расчет электрических нагрузок ЭП напряжением до 1 кВ производится для каждого узла питания (распределительного пункта, шкафа, сборки, распределительного шинпровода, щита станций управления, троллея, магистрального шинпровода, цеховой трансформаторной подстанции), а также по цеху, корпусу в целом.

Исходные данные для расчета (графы 1-6) заполняются на основании полученных данных на проектирование электротехнической части (графы 1-4) и согласно справочным материалам (графы 5, 6), в которых приведены значения коэффициентов использования и реактивной мощности для индивидуальных ЭП.

При этом:

Все ЭП группируются по характерным категориям с одинаковыми K_u и $\text{tg}\varphi$. В каждой строке указываются ЭП одинаковой мощности.

Резервные электроприемники, ремонтные сварочные трансформаторы и другие ремонтные электроприемники, а также электроприемники, работающие кратковременно (пожарные насосы, задвижки, вентили и т. п.), при подсчете расчетной мощности не учитываются (за исключением случаев, когда мощности пожарных насосов и других противоаварийных ЭП определяют выбор элементов сети электроснабжения). В графах 2 и 4 указываются данные только рабочих ЭП.

В случаях, когда n_s определяется по упрощенному выражению, все ЭП группируются построчно по характерным категориям независимо от мощности ЭП, а в графе 3 указываются максимальная и минимальная мощности ЭП данной характерной группы.

Для многодвигательных приводов учитываются все одновременно работающие электродвигатели данного привода. Если в числе этих двигателей имеются одновременно включаемые (с идентичным режимом работы), то они учитываются в расчете как один ЭП номинальной мощностью, равной сумме номинальных мощностей одновременно работающих двигателей.

Для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы их номинальная мощность не приводится к длительному режиму ($P_B = 100\%$).

При включении однофазного ЭП на фазное напряжение он учитывается в графе 2 как эквивалентный трехфазный ЭП номинальной мощностью

$$p_n = 3p_{н.о}; \quad (2.7)$$

$$q_n = 3q_{н.о}, \quad (2.8)$$

где $p_{н.о}$, $q_{н.о}$ - активная и реактивная мощности однофазного ЭП.

При включении однофазного ЭП на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный ЭП номинальной мощностью

$$P_n = \sqrt{3}P_{n.o}; \quad (2.9)$$

$$q_n = \sqrt{3}q_{n.o} \quad (2.10)$$

При наличии группы однофазных ЭП, которые распределены по фазам с неравномерностью не выше 15% по отношению к общей мощности трехфазных и однофазных ЭП в группе, они могут быть представлены в расчете как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью.

В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трехфазных ЭП принимается равной тройному значению мощности наиболее загруженной фазы.

При наличии в справочных материалах интервальных значений k_u следует для расчета принимать наибольшее значение. Значения k_u должны быть определены из условия, что вероятность превышения фактической средней мощности над расчетной для характерной категории ЭП должна быть не более 0,05.

В графах 7 и 8 соответственно записываются построчно величины $K_u P_n$ и $K_u P_n \operatorname{tg}\varphi$. В итоговой строке определяются суммы этих величин: $\Sigma K_u P_n$, $\Sigma K_u P_n \operatorname{tg}\varphi$.

Определяется групповой коэффициент использования для данного узла питания

$$K_u = \Sigma K_u P_n / \Sigma P_n \quad (2.11)$$

Значение K_u заносится в графу 5 итоговой строки.

Для последующего определения n_ε в графе 9 построчно определяются для каждой характерной группы ЭП одинаковой мощности величины np_n^2 и в итоговой строке - их суммарное значение Σnp_n^2 . При определении n_ε по упрощенной формуле графа 9 не заполняется.

Определяется эффективное число электроприемников n_ε следующим образом:

Как правило, n_ε для итоговой строки определяется по выражению

$$n_\varepsilon = (\Sigma P_n)^2 / \Sigma np_n^2 \quad (2.12)$$

При значительном числе ЭП (магистральные шинопроводы, шины цеховых трансформаторных подстанций, в целом по цеху, корпусу, предприятию) n_ε может определяться по упрощенной формуле

$$n_\varepsilon = 2\Sigma P_n / p_{n.\max} \quad (2.13)$$

Найденное по указанным выражениям значение n_3 округляется до ближайшего меньшего целого числа. При $n_3 \leq 4$ рекомендуется пользоваться номограммой. В зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприемников определяется и заносится в графу 11 коэффициент расчетной нагрузки K_p .

Расчетная активная мощность подключенных к узлу питания ЭП напряжением до 1 кВ (графа 12) определяется по выражению

$$P_p = K_p \sum K_u P_n \quad (2.14)$$

В случаях, когда расчетная мощность P_p окажется меньше номинальной наиболее мощного электроприемника, следует принимать $P_p = P_{н.макс}$.

Расчетная реактивная мощность (графа 13) определяется следующим образом:

Для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от n_3 :

$$\text{при } n_3 \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum K_u P_n \operatorname{tg}\varphi \quad (2.15)$$

$$\text{при } n_3 > 10 \quad Q_p = \sum K_u P_n \operatorname{tg}\varphi \quad (2.16)$$

Для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций, а также при определении реактивной мощности в целом по цеху, корпусу, предприятию

$$Q_p = K_p \sum K_u P_n \operatorname{tg}\varphi = P_p \operatorname{tg}\varphi \quad (2.17)$$

К расчетной активной и реактивной мощности силовых ЭП напряжением до 1 кВ должны быть при необходимости добавлены осветительные нагрузки $P_{р.о}$ и $Q_{р.о}$.

Значение токовой расчетной нагрузки, по которой выбирается сечение линии по допустимому нагреву, определяется по выражению (графа 15)

$$I_p = S_p / \sqrt{3} U_n, \quad (2.18)$$

где $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$ - полная расчетная мощность, кВ·А, (графа 14).

Расчет электрических нагрузок ЭП напряжением выше 1 кВ производится с учетом следующих особенностей:

При получении от технологов коэффициентов, характеризующих реальную загрузку электродвигателей, в графу 5 заносится вместо K_u значение K_3 , в графу 7 - значение $K_3 P_n$.

Расчетная нагрузка цеховых трансформаторных подстанций с учетом осветительной нагрузки и потерь в трансформаторах заносится в графы 7 и 8.

Определяется число присоединений 6 кВ на сборных шинах РП, ТП (графа 2 итоговой строки). Резервные ЭП не учитываются.

Эффективное число ЭП n_e не определяется и графы 9 и 10 не заполняются.

В зависимости от числа присоединений и группового коэффициента использования $\Sigma K_u P_n / \Sigma P_n$, занесенного в графу 5 итоговой строки, определяется значение коэффициента одновременности K_o . Значение K_o заносится в графу 11 (при этом $K_p = 1$).

Расчетная мощность (графы 12 - 14) определяется по выражениям

$$P_p = K_o \Sigma K_u P_n; \quad (2.19)$$

$$Q_p = K_o \Sigma K_u P_n \operatorname{tg} \varphi = P_p \operatorname{tg} \varphi; \quad (2.20)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.21)$$

Результирующий расчет нагрузок для каждой трансформаторной подстанции и выбор мощности трансформаторов рекомендуется выполнять по форме [8].

Результирующая нагрузка на стороне высокого напряжения определяется с учетом средств КРМ и потерь мощности в трансформаторах.

Данные о электроприемниках подробно проектируемого объекта представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Ведомость электрических нагрузок

№п/п	Наименование электроприемника	Кол-во	Р пасп, кВт	КПД, %	ПВ, %	Рном, кВт	Ки	cosφ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-7	Супер-Бра №1	7	70	91	60	56,8	0,14	0,5
9.	Giga 3500	1	90	92	60	72,7	0,14	0,5
10,11	VR/66	2	75	91	60	60,9	0,16	0,6
12,14	Терцаго	2	15	88	60	12,4	0,14	0,5
15	LAM-2	1	140	92	60	113,1	0,55	0,7
16,17	Хенсель №2	2	60	91	60	48,7	0,14	0,5
18,19	Бретен №2	2	75	91	60	60,9	0,65	0,8
20	АEG-455	1	60	91	60	48,7	0,6	0,7
21	DXS-7	1	100	91	60	81,2	0,45	0,6
22	Левибритон 450/312	1	200	92,5	60	161,1	0,1	0,5
23,24	VRS/12 №3	2	75	91	60	60,9	0,14	0,5
25	Диа-Бретен	1	90	91	60	72,7	0,14	0,5
26	КСМ-04	1	100	91	60	81,2	0,14	0,5

Окончание таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
28-33	Станок Диага №7	6	75	91	60	60,9	0,14	0,5
34	Тибо	1	25	90,5	60	20,4	0,14	0,5
36	Грань	1	15	88	60	12,4	0,14	0,5
37	Хенсель полир	1	30	90,5	60	24,4	0,14	0,5
38	ВР/66 №7	2	75	91	60	60,9	0,14	0,5
39	Сверлильный станок	1	5	87,5	60	4,1	0,14	0,5
40	Т-310	1	30	90,5	60	24,4	0,14	0,5
41,42	Аксия	1	40	91	60	32,5	0,14	0,5
8,43	Кран мостовой	2	55	91	20	25,8	0,1	0,5
35,27,13	Кран мостовой 5 т	3	23	92	20	10,8	0,1	0,5

3 Описание схемы внешнего электроснабжения

Камнеобрабатывающий завод ООО «ПК «Саянмрамор» получает питание от понизительной подстанции.

Распределительные устройства ПС 110 кВ выполнены по схеме №110-4Н – «схема с двумя системами сборных шин».

Критерии надёжности схемы №110-4Н следующие:

- при отказе нормально включенного шиносоединительного выключателя возможно полное погашение распределительного устройства;

- при оперативных переключениях сборные шины имеют непосредственную электрическую связь на развилках из шинных разъединителей, и при возникновении отказов возможно полное погашение распределительного устройства.

- по статистике 20–30% отказов на сборных шинах приводит к полному погашению распределительного устройства. Большое количество присоединений приводит к снижению надёжности схемы;

- по сравнению со схемой с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин на порядок увеличивает математическое ожидание недоотпуска электроэнергии потребителям при прочих равных условиях;

- как следствие является вынужденным решением, требующим в проектах дополнительного обоснования с режимных позиций, поскольку является самой ненадежной схемой с точки зрения потенциальной возможности полного погашения распределительного устройства.

4 Выбор параметров схемы канализации электроэнергии на предприятии

4.1 Выбор кабелей, питающих КТП

Определим расчетную нагрузку на третьем уровне электроснабжения, которая включает в себя расчетную мощность силовой нагрузки, расчетную мощность осветительной нагрузки.

Произведем расчет:

$$P_{III} = \Sigma P_p + \Sigma P_{o.p.}, \quad (4.1)$$

где P_p – активная расчетная мощность,

$P_{o.p.}$ – расчётная активная нагрузка освещения,

$$P_{III} = 343 + 43,8 = 387 \text{ кВт}$$

$$Q_{III} = \Sigma Q_M + \Sigma Q_{o.p.} \quad (4.2)$$

где Q_p – реактивная расчетная мощность цеха,

$Q_{o.p.}$ – расчётная реактивная нагрузка освещения

$$Q_{III} = 470 + 58,4 = 529 \text{ кВАр}$$

$$S_{III} = \sqrt{P_{III}^2 + Q_{III}^2} \quad (4.3)$$

$$S_{III} = \sqrt{P_{III}^2 + Q_{III}^2} = \sqrt{387^2 + 529^2} = 655 \text{ кВА}$$

Выбираем параметры трансформаторов, таблица 4.1.

Произведем расход потерь активной и реактивной мощности в выбранных трансформаторах. Параметры трансформаторов, взятые в таблице [29, стр. 49], занесем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Параметры трансформаторов

Трансформатор	Номинальное напряжение		$S_{ном}, \text{кВА}$	$\Delta P_X, \text{кВт}$	$\Delta P_K, \text{кВт}$	$U_K, \%$	$I_X, \%$
	ВН	НН					
ТМЗ-630/6	6	0,4	630	1,56	7,6	5,5	2,0

Определим потери активной и реактивной мощности для трансформаторов КТП

Определим потери мощности в трансформаторе в режиме максимальных нагрузок сведем получившиеся значения в таблицу 4.2:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot S_{III}^2}{n \cdot S_{\text{НОМ}}^2} \quad (4.5)$$

где ΔP_{xx} – потери холостого хода,
 $\Delta P_{\text{кз}}$ – потери короткого замыкания.

$$\Delta P_{\text{тр}} = 2 \cdot 3,3 + \frac{18 \cdot 655^2}{2 \cdot 630^2} = 16,3 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n \cdot \frac{I_{xx} \cdot S_{\text{НОМ}}}{100\%} + \frac{U_{\text{к}} \cdot S_{III}^2}{n \cdot 100 \cdot S_{\text{НОМ}}}, \quad (4.6)$$

где I_{xx} – ток холостого хода,
 $U_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания.

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 2 \cdot \frac{2 \cdot 630}{100\%} + \frac{5,5 \cdot 655^2}{2 \cdot 100 \cdot 630} = 43,9 \text{ кВар}$$

Таблица 4.2 - Определение расчетной нагрузки

Наименование	Pp, кВт	Qp кВар	Sp кВА	ΔPтр, кВт	ΔQтр, кВар
КТП	387	529	655	16,3	43,9

Питание трансформаторной подстанций будем осуществлять при помощи кабельных линий выполненных кабелем ААБл .

Определим расчетный ток кабельной линии питающей КТП и выберем сечение кабеля :

Расчетная нагрузка четвертого уровня представляет собой сумму расчетной нагрузки третьего уровня (расчетная силовая нагрузка цехов питающихся от КТП, включающая в себя потери в линиях, и нагрузку на освещение) и потерь в цеховых трансформаторах.

$$P_{IV} = P_{III} + \Delta P_{\text{тр}} = 1387 + 16,3 = 403,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{IV} = Q_{III} + \Delta Q_{\text{тр}} - Q_{\text{ку}} = 529 + 43,9 - 0 = 572,9 \text{ кВАр},$$

$$S_{IV} = \sqrt{P_{IV}^2 + Q_{IV}^2} = \sqrt{403,3^2 + 572,9^2} = 700,6 \text{ кВА},$$

Выбираем сечение жил кабельных линий, учитывая допустимую перегрузку в аварийном режиме при прокладке кабелей в одной траншее. Принимаем время ликвидации аварии максимальным (6ч), а коэффициент загрузки линии в нормальном режиме 0,6. в соответствии с [29, таблица 3.3] допустимая перегрузка составляет 1,25. Коэффициент снижения токовой нагрузки $K_{с.н.}$ принимаем [29, таблица 1.3.26] равным 0,9.

Определим расчетный длительный ток кабельной линии в нормальном режиме.

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{IV}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{700,6}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 33,7 \text{ А.}$$

Определим расчетный длительный ток кабельной линии в аварийном режиме.

$$I_{\text{max.р.}} = \frac{S_{IV}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{700,6}{\sqrt{3} \cdot 6} = 67,4 \text{ А.}$$

Определим расчетный длительный ток кабельной линии в аварийном режиме с учетом коэффициента прокладки и коэффициента снижения токовой нагрузки $K_{с.н.}$, и допустимой перегрузки.

$$I_{\text{ав.дл.}} = \frac{I_{\text{max.р.}}}{1,2 \cdot K_{с.н.}} = \frac{67,4}{1,2 \cdot 0,9} = 62,4 \text{ А.}$$

По таблице 4.14 [29] принимаем сечение жил трехжильного кабеля равным 70 мм² ($I_{\text{доп}} = 160 \text{ А}$), кабель ААБл.

КТП выполняем пристроенной к цеху, поскольку размещение КТП в центре электрических нагрузок (в цехе) невозможно, так как это будем мешать технологическому процессу ООО «ПК «Саянмрамор».

5 Выбор оборудования и его проверка по токам короткого замыкания

5.1 Расчет токов КЗ в сети напряжением выше 1000 В

Расчет токов КЗ на ВН производится в относительных единицах. Расчет произведем по методике, изложенной в [6].

Схема замещения системы электроснабжения (рисунок 5.1) выше 1000 В представляет собой совокупность схем замещения ее отдельных элементов (в основном в виде индуктивных сопротивлений), соединенных между собой в той же последовательности, что и на расчетной схеме. Источники питания (синхронные генераторы и электрическая система) во внешней схеме электроснабжения кроме собственных реактивностей, имеют также и ЭДС (рисунок 5.2).

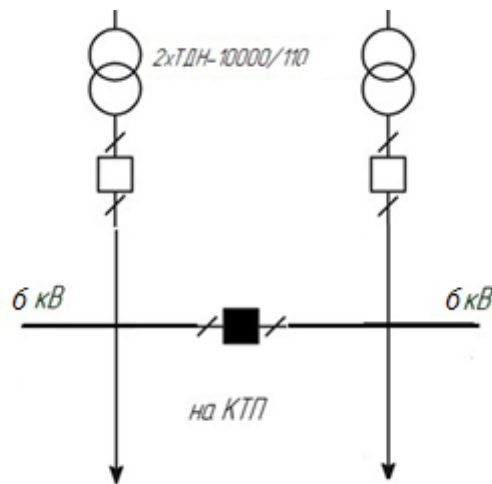


Рисунок 5.1 - Схема замещения системы электроснабжения

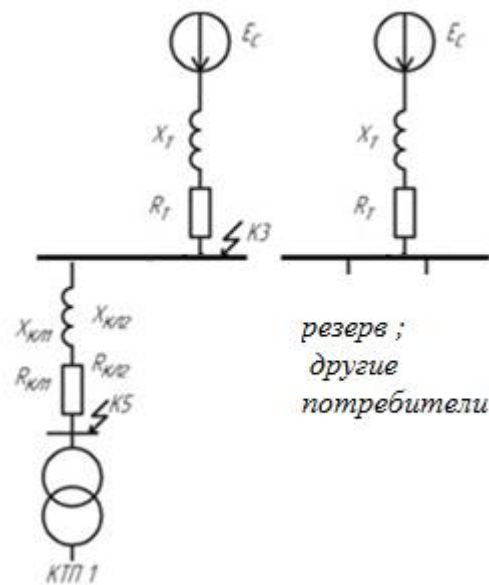


Рисунок 5.2 - Схема замещения системы электроснабжения

Базисный ток будем определять по формуле:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}. \quad (5.1)$$

Для приведенных ступеней напряжения базисные токи будут соответственно равны:

$$I_{\sigma 1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,52 \text{ кА (для ступени 110кВ)}.$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 5,5 \text{ кА (для ступени 6кВ)}.$$

Определяем сопротивление системы:

$$\begin{aligned} x_C^* \\ = \frac{S_{\sigma}}{S_K} \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$x_C^* = \frac{100}{480} = 0,208 \text{ о. е.}$$

Определяем ток трехфазного короткого замыкания в точке К1.

$$I_{K1} = I_{\sigma 1} \cdot \frac{E_C^*}{x_C^*} \quad (5.3)$$

$$I_{K1} = 0,52 \cdot \frac{1}{0,208} = 2,5 \text{ кА.}$$

Определяем сопротивления воздушной линии ВЛ 110 кВ в о.е.

$$r_{ВЛ}^* = r_{ВЛ} \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma 1}^2} = 0,422 \cdot 5 \cdot \frac{100}{110^2} = 0,017 \text{ о. е.}$$

$$x_{ВЛ}^* = x_{ВЛ} \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma 1}^2} = 0,444 \cdot 5 \cdot \frac{100}{110^2} = 0,018 \text{ о. е.}$$

Определяем результирующие сопротивления для точки К2:

$$r_{рез.К2}^* = r_{ВЛ}^* = 0,017 \text{ о. е.}$$

$$x_{рез.К2}^* = x_C^* + x_{ВЛ}^* = 0,208 + 0,018 = 0,227 \text{ о. е.}$$

Определяем ток трехфазного короткого замыкания в точке К2.

$$I_{K2} = \frac{I_{\delta 1} \cdot E_C^*}{\sqrt{r_{рез.К2}^{*2} + x_{рез.К2}^{*2}}} = \frac{0,52 \cdot 1}{\sqrt{0,017^2 + 0,227^2}} = 2,3 \text{ кА.}$$

Определяем отношение сопротивлений:

$$\frac{x_{рез.К2}^*}{r_{рез.К2}^*} = \frac{0,227}{0,017} = 13.$$

По найденному соотношению определяем ударный коэффициент по графику на рисунке 6.2 [6, стр. 143]. При $\frac{x_{рез.К2}^*}{r_{рез.К2}^*} = 13$ ударный коэффициент равен 1,785.

Определяем ударный ток:

$$I_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,785 \cdot 2,3 = 5,8 \text{ кА.}$$

Трансформаторы Т1 и Т2 источника питания:

$$\begin{aligned} x_{тр}^* &= \sqrt{\left(\frac{u_{k\%}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_k}{S_{тр}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{тр}} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 1}^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{10,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{0,060}{10}\right)^2} \cdot \frac{110^2}{10} \cdot \frac{100}{110^2} = 1,048 \text{ о. е.} \end{aligned}$$

$$r_{тр}^* = \frac{\Delta P_k U_{ном}^2}{S_{тр}^2} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 1}^2} = \frac{0,060 \cdot 110^2}{10^2} \cdot \frac{100}{110^2} = 0,06 \text{ о. е.}$$

Определяем результирующие сопротивления для точки К3:

$$r_{рез.К3}^* = r_{ВЛ}^* + r_{тр}^* = 0,017 + 0,06 = 0,077 \text{ о. е.}$$

$$x_{рез.К3}^* = x_C^* + x_{ВЛ}^* + x_{тр1}^* = 0,208 + 0,018 + 1,048 = 1,275 \text{ о. е.}$$

Определяем ток трёхфазного КЗ в точке К3:

$$I_{K3} = \frac{I_{\delta 2} \cdot E_C^*}{\sqrt{r_{рез.К3}^{*2} + x_{рез.К3}^{*2}}} = \frac{5,5 \cdot 1}{\sqrt{0,077^2 + 1,275^2}} = 4,3 \text{ кА.}$$

Определяем отношение сопротивлений:

$$\frac{x_{\text{рез.КЗ}}^*}{r_{\text{рез.КЗ}}^*} = \frac{1,275}{0,077} = 16,5.$$

По найденному соотношению определяем ударный коэффициент по графику на рисунке 6.2 [6, стр. 143]. При $\frac{x_{\text{рез.КЗ}}^*}{r_{\text{рез.КЗ}}^*} = 16,5$ ударный коэффициент равен 1,826.

Определяем ударный ток:

$$I_{y3} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1,826 \cdot 4,33 = 11,1 \text{ кА.}$$

Определяем сопротивление кабельной линии КЛ до КТП:

$$r_{KL5}^* = r_{KL} \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 0,443 \cdot 0,240 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,096 \text{ о. е.}$$

$$x_{KL5}^* = x_{KL} \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 0,086 \cdot 0,240 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,019 \text{ о. е.}$$

Определяем результирующие сопротивления для точки К5:

$$r_{\text{рез.К5}}^* = r_{\text{рез.КЗ}}^* + r_{KL5}^* = 0,077 + 0,096 = 0,174 \text{ о. е.}$$

$$x_{\text{рез.К5}}^* = x_{\text{рез.КЗ}}^* + x_{KL5}^* = 1,275 + 0,019 = 1,294 \text{ о. е.}$$

Определяем ток трёхфазного КЗ в точке К5:

$$I_{K5} = \frac{I_{62} \cdot E_C}{\sqrt{r_{\text{рез.К5}}^{*2} + x_{\text{рез.К5}}^{*2}}} = \frac{5,5 \cdot 1}{\sqrt{0,174^2 + 1,294^2}} = 4,2 \text{ кА.}$$

Определяем отношение сопротивлений:

$$\frac{x_{\text{рез.К5}}^*}{r_{\text{рез.К5}}^*} = \frac{1,294}{0,174} = 7,4.$$

По найденному соотношению определяем ударный коэффициент по графику на рисунке 6.2 [6, стр. 143]. При $\frac{x_{\text{рез.К5}}^*}{r_{\text{рез.К5}}^*} = 7,4$ ударный коэффициент равен 1,656. Определяем ударный ток:

$$I_{y5} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K5} = \sqrt{2} \cdot 1,656 \cdot 4,2 = 9,9 \text{ кА.}$$

5.2 Выбор оборудования

Коммутационную аппаратуру выбираем по рабочему току и по напряжению сети.

При выборе должны выполняться следующие условия:

$$U_{ном} \geq U_{уст},$$

$$I_{ном} \geq I_{авар.п.}$$

Для защиты линий выбираем вакуумные выключатели серии ВР.

В качестве примера рассмотрим выбор выключателя для защиты КЛ до КТП питающей цеха №3 и №4 камнеобрабатывающего завода.

$U_{ном, КЛ} = 6$ кВ, $I_{ном, КЛ} = 45,4$ А. Выбираем выключатель ВР0-6-20/630 У2 с $U_{ном} = 6$ кВ, $I_{ном} = 630$ А.

При выборе ПКТ для защиты КТП берем коэффициент запаса равным 1,4-2,5.

Таблица 5.1 - Выбор предохранителей

Наименование	$U_{ном}$, кВ	$I_{махр}$, А	Расчетный ток с учетом коэффициента запаса, А	$I_{н.пред}$, А	Тип предохранителя	Кол-во
КТП	6	118,3	295,8	360	ПКТ-ВК-6-360-80 У2	2

Для защиты КТП будем использовать выключатели нагрузки.

Таблица 5.2 - Защитные аппараты КТП

Наименование	$U_{ном}$, кВ	$I_{махр}$, А	$I_{н.выкл}$, А	Марка	Кол-во
КТП	6	118,3	200	ВН-16У3	2

ВР0-6-20/630 У2 со следующими параметрами: $U_{ном.} = 6$ кВ; $I_{ном.} = 630$ А; $I_{ном.откл.} = 20$ кА; предельный сквозной ток $I_{скв} = 128$ кА; предельный ток термической стойкости $I_{пр.т.ст.} = 40$ кА; собственное время выключателя $t_{вкл.} = 0,12$ с, $t_{откл.} = 0,055$ с.

ВН-16У3 выключатель нагрузки с пружинным приводом и усиленной контактной системой. Со следующими параметрами: $U_{ном.} = 6$ кВ; $I_{ном.откл.} = 200$ А; предельный сквозной ток $I_{скв.} = 30$ кА; предельный ток термической стойкости $I_{пр.т.ст.} = 6$ кА.

5.3 Проверка оборудования по токам КЗ

Проверим выключатели защищающие кабельные линии напряжением 6 кВ. Проверку будем проводить по току КЗ и ударному току КЗ в К4.

ВР0-6-20/630 У2

По напряжению электроустановки:

$$U_{уст} \leq U_{НОМ} \text{ или } 6\text{кВ} \leq 6\text{кВ}$$

По длительному току:

$$I_{МАХР} \leq I_{НОМ} \text{ или } 109,5 \text{ А} < 630 \text{ А}$$

По несимметричному току отключения:

$$I_{П\tau} \leq I_{ОТКЛ}, \text{ или } 4,3 \text{ кА} < 40 \text{ кА, где } I_{П\tau} \approx I_{П0} = I_{К}^{(3)}.$$

По апериодической составляющей расчетного тока:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{П\tau} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{ОТКЛ.НОМ} \cdot (1 + \beta_H / 100)$$

$$\tau = t_{P3MIN} + t_{OB} = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ с,}$$

где t_{OB} - собственное время отключения выключателя с приводом;
 t_{P3MIN} - условное наименьшее время срабатывания релейной защиты;
 $\beta_i = 35\%$ - содержание апериодической составляющей.

$$i_{ат} = \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{ОТКЛ.НОМ}}{100} = \frac{\sqrt{2} \cdot 35 \cdot 40}{100} = 19,8 \text{ кА,}$$

$$\sqrt{2} \cdot 4,3 + 19,8 < \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 1,4,$$

$$21,2\text{кА} < 79,2\text{кА.}$$

По предельному сквозному току к.з. на электродинамическую устойчивость:

$$I_{П0} \leq I_{ПРСКВ} \text{ или } 11,1 \text{ кА} < 128 \text{ кА,}$$

$$i_y \leq i_{ПРСКВ} \text{ или } 11,1 \text{ кА} < 128 \text{ кА.}$$

По допустимому току термической устойчивости:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T,$$

где I_T и t_T - ток и время термической устойчивости.

$$B_K = I_{П0}^2 \cdot (t_{ОТКЛ} + T_a),$$

где $t_{ОТКЛ} = 0,055$ с – время отключения линии;

$T_a = 0,01$ – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ.

$$B_K = 11,1^2 \cdot (0,055 + 0,01) = 8,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$8,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выключатель подходит по результатам проверки.

Условия проверки выключателя нагрузки ВН-16УЗ установленных на КТП:

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети}$$

$$I_{ном.} \geq I_{раб.мах.}$$

$$i_{ном.дин.} \geq i_{уд.},$$

$$I_{у.доп.} \geq I_{КЗ.мах}$$

$$I_t^2 \cdot t_{пр} \geq I_{КЗ.мах}^2 \cdot t$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение выключателя нагрузки, В; $U_{ном.сети}$ – номинальное напряжение сети, В; $I_{ном.}$ – номинальный ток выключателя нагрузки; $I_{раб.мах.}$ – максимальный рабочий ток электроприемника, А; $i_{ном.дин.}$ – предельный сквозной ток, кА; $i_{уд.}$ – ударный ток КЗ, кА; $I_{КЗ.мах}$ – максимальный ток КЗ, кА; $I_{у.доп.}$ – наибольшее действующее значение полного тока; I_t – ток термической стойкости, кА; t – время отключения, с; $t_{пр}$ – время протекания тока, с; $I_{ном.пр.}$ – номинальный ток предохранителя, А; $I_{откл.ном.пр.}$ – номинальный ток отключения предохранителя, кА;

В КТП установлены выключатели нагрузки типа ВН-16УЗ.

Каталожные данные: $U_{НОМ}=6$ кВ, $I_{НОМ}=200$ А, $i_{ном.дин}=30$ кА, $I_{у.доп}=14,5$ А, $i_t=6$ кА, $t_{пр}=10$ с.

Условия проверки:

$$6 \text{ кВ} = 6 \text{ кВ},$$

$$200 \text{ А} > 118,3 \text{ А},$$

$$30 \text{ кА} > 15 \text{ кА},$$

$$30 \text{ кА} > 6,167 \text{ кА},$$

$$6^2 \cdot 10 > 6,167^2 \cdot 0,05 \text{ или } 360 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 1,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где $t = 0.05\text{с}$ – время перегорания предохранителя ПКТ.

Имеющийся выключатель нагрузки удовлетворяет всем требованиям.

Проверим установленный на КТП предохранитель исходя из условий:

$$U_{\text{ном.пр.}} \geq U_{\text{ном.сети}}$$

$$I_{\text{откл.ном.пр.}} \geq I_{\text{КЗ.мах}}$$

$$I_{\text{ном.пр.}} \geq I_{\text{раб.мах.}},$$

$$I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{раб.мах.}}$$

где $U_{\text{ном.пр.}}$ – номинальное напряжение предохранителя, В; $U_{\text{ном.сети}}$ – номинальное напряжение сети, В; $I_{\text{откл.ном.пр.}}$ – номинальный ток отключения предохранителя, кА; $I_{\text{КЗ.мах}}$ – максимальный ток КЗ, кА; $I_{\text{ном.пр.}}$ – номинальный ток предохранителя, А; $I_{\text{ном.вст.}}$ – номинальный ток плавкой вставки, А; $I_{\text{раб.мах.}}$ – максимальный рабочий ток электроприемника, А.

В КТП установлены предохранители типа ПКТ-VK-6-360-80 У2.

Каталожные данные: $I_{\text{ном.пр.}} = 360\text{А}$; $I_{\text{ном.вст.}} = 360\text{А}$;

$$I_{\text{ном.откл.пр.}} = 20\text{кА},$$

$$6 \text{ кВ} = 6 \text{ кВ},$$

$$20 \text{ кА} > 6,048 \text{ кА}, 360 \text{ А} > 295,8 \text{ А}, 360 \text{ А} > 118,3 \text{ А}.$$

Проверку производили по наибольшему току КЗ и по наибольшему ударному току КЗ.

Имеющийся предохранитель отвечает всем требованиям.

Произведем проверку питающих кабелей 6 кВ и кабелей распределительной сети на термическую стойкость.

Произведем проверку сечения кабеля питающего КТП

Согласно расчетам для КЛЗ был использован кабель марки ААБл сечением жил 35 мм^2 , трехфазный ток короткого замыкания на шинах источника питания составляет 4,0 кА. Для защиты от токов короткого замыкания питающих линий используем вакуумный выключатель марки ВР0-6-20/630 У2, полное время отключения выключателя составляет $t_{\text{в}} = 0,055 \text{ с}$.

Принимая время срабатывания релейной защиты на головном участке сети $t_{\text{рз}} = 0,5 \text{ с}$ определим тепловой импульс образующийся при коротком замыкании.

$$W_{\text{КЗ}} = I_{\text{КЗ}}^2 \cdot (t_{\text{в}} + t_{\text{рз}}) = 4041^2 \cdot (0,055 + 0,5) = 9061378\text{А}^2 \cdot \text{с}.$$

Определяем минимальное сечение, способное выдержать тепловой импульс.

$$F = \frac{\sqrt{B_{K3}}}{C} = \frac{\sqrt{9061378}}{95} = 32 \text{ мм}^2,$$

где $C = 95 A \cdot c^{0,5} / \text{мм}^2$ – тепловая функция при номинальных условиях [20, таблица 3.4].

Отмечаем, что сечение кабеля 35 мм^2 больше минимального сечения 32 мм^2 , оставляем сечение кабеля тем же 35 мм^2 .

Таблица 5.6 - Проверка питающих кабелей 6 кВ и кабелей распределительной сети на термическую стойкость

КЛ	время сраб РЗ трз, с	время сраб выключ / предохран, с	полное время отключения t, с	ток КЗ Iп, кА.	тепловой импульс Вл, A ² *с	миним сечение Fmin, мм ²	сечение жилы кабеля F, мм ²	решение	принятое сечение жилы кабеля F, мм ²
КЛ	0,5	0,055	0,555	4,212	9848282	33	70	оставить без изменения	70

6 Качество электроэнергии в сети напряжением выше 1000 В

6.1 Расчет потерь напряжения в сети напряжением выше 1000 В и цеховых трансформаторах

Качество напряжения зависит от потерь напряжения в отдельных элементах питающей сети.

а) Максимальный режим

Определим падение напряжения в высоковольтной кабельной линии 6кВ.

$$\Delta U_{\text{КЛ}} = \sqrt{3} I_{\text{раб}} l (r_{\text{уд}} \cos \varphi + x_{\text{уд}} \sin \varphi), \quad (6.1)$$

где $I_{\text{раб}} = 20,2 \text{ А}$, $r_{\text{уд}} = 0,443 \text{ Ом/км}$, $x_{\text{уд}} = 0,086 \text{ Ом/км}$, $l = 240 \text{ м}$.

$$\cos \varphi = \cos \left(\arctg \left(\frac{Q}{P} \right) \right), \quad (6.2)$$

где $P_{IV} = 403,3 \text{ кВт}$, $Q_{IV} = 572,9 \text{ кВар}$ - это активная и реактивная мощности передаваемые по кабельной линии в максимальном режиме работы.

$$\cos \varphi = \cos \left(\arctg \left(\frac{572,9}{403,3} \right) \right) = 0,58, \quad \sin \varphi = 0,66$$

$$\Delta U_{\text{КЛ}} = \sqrt{3} \cdot 20,2 \cdot 0,240 \cdot (0,443 \cdot 0,58 + 0,086 \cdot 0,66) = 11,09 \text{ В}$$

Определяем напряжение в конце кабельной линии 6 кВ.

$U_0 = U_{III} = 1,05 U_{\text{ном}} = 1,05 \cdot 6000 = 6300 \text{ В}$ - в максимальном режиме.

$$U_1 = U_0 - \Delta U_{\text{КЛ}} = 6300 - 11,09 = 6288,91 \text{ В}.$$

Определим потери напряжения в трансформаторе:

$$\Delta U_{\text{ТР}} = \beta (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi), \quad (6.3)$$

где U_a , U_p - активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания.

$$\beta = \frac{S_{pac}}{2S_{ном}} - \text{коэффициент загрузки,}$$

$$S = \frac{S_{pac}}{2} = \frac{700,6}{2} = 350,3 \text{ кВА.}$$

$$S_{ном} = 630 \text{ кВА,}$$

Коэффициент загрузки:

$$\beta = \frac{350,3}{630} = 0,56.$$

Реактивная составляющие напряжения короткого замыкания:

$$U_p = \sqrt{U_K^2 - U_a^2} \quad (6.4)$$

$$U_K = 5,5\%,$$

Активная составляющие напряжения короткого замыкания:

$$U_a = \frac{\Delta P_K}{S_{ном}} 100\% = \frac{5,5}{630} \cdot 100 = 0,87\%,$$

$$\Delta P_K = 7,6 \text{ кВт.}$$

$$U_p = \sqrt{U_K^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 0,87^2} = 5,43 \%,$$

Потери напряжения в трансформаторе:

$$U_{ТР\%} = 0,56 \cdot (0,87 \cdot 0,58 + 5,43 \cdot 0,66) = 2,45\%,$$

$$\Delta U_{ТР} = \frac{6300 \cdot 2,45}{100} = 327,69 \text{ В.}$$

Определяем напряжение на низкой стороне трансформатора.

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{ТР} = 5288,91 - 327,69 = 4861,22 \text{ В,}$$

$$U'_2 = \frac{U_2}{K_T} = \frac{4861,22}{6/0,4} = 406,4 \text{ В.}$$

б) Минимальный режим

Так как токи и потери напряжения прямо пропорциональны мощности, то для любых величин в минимальном режиме выполняются условия:

$$\Delta U_{\text{КЛ}} = m \cdot \Delta U_{\text{КЛ}max}, \quad (6.5)$$

где $m = \frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{max}}} = 0,6 [20]$.

$$\Delta U_{\text{КЛ}} = m \cdot \Delta U_{\text{КЛ}max} = 0,6 \cdot 5,82 = 3,49 \text{ В}$$

$$U_0 = U_{\text{III}} = U_{\text{НОМ}} = 6000 \text{ В} - \text{в минимальном режиме.}$$

$$U_1 = U_0 - \Delta U_{\text{КЛ}} = 6000 - 3,49 = 5996,51 \text{ В}$$

Определим потери напряжения в трансформаторе.

$$\Delta U_{\text{ТР}} = 0,6 \cdot \Delta U_{\text{ТР}max} = 0,6 \cdot 171,9 = 103,15 \text{ В}$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{\text{ТР}} = 5996,51 - 103,15 = 5893,36 \text{ В}$$

$$U'_2 = \frac{U_2}{K_{\text{T}}} = \frac{5893,36}{6/0,4} = 395,7 \text{ В}$$

в) Послеаварийный режим

В качестве послеаварийного режима будем рассматривать выход из строя одного трансформатора.

$$I_{\text{ав}} = 40,4 ,$$

$$\Delta U_{\text{КЛ}} = \sqrt{3} \cdot 40,4 \cdot 0,240 \cdot (0,443 \cdot 0,58 + 0,086 \cdot 0,66) = 22,18 \text{ В,}$$

$$U_0 = U_{\text{III}} = 1,1 U_{\text{НОМ}} = 1,1 \cdot 6000 = 6600 \text{ В} - \text{в послеаварийном режиме.}$$

$$U_1 = U_0 - \Delta U_{\text{КЛ}} = 6600 - 22,18 = 5977,82 \text{ В.}$$

Определим потери напряжения в трансформаторе:

$$\beta = \frac{S_{\text{расч}}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{700,6}{630} = 1,1$$

$$U_{\text{ТР}\%} = 1,1 \cdot (0,34 \cdot 0,78 + 5,49 \cdot 0,626) = 6,5\%,$$

$$\Delta U_{\text{ТР}} = \frac{6000 \cdot 6,5607}{100} = 656,07 \text{ В.}$$

Определяем напряжение на низкой стороне трансформатора.

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{TP} = 5977,82 - 656,07 = 5821,75 \text{ В},$$

$$U'_2 = \frac{U_2}{K_T} = \frac{5821,75}{6/0,4} = 392,9 \text{ В}.$$

Отклонение напряжения на каждом участке будем определять по формуле:

$$V = \left[\frac{(U_{ин} - \Delta U_{участка}) - U_{ном}}{U_{ном}} \right] \quad (6.6)$$

Требования к качеству электроэнергии стандартное: отклонение напряжения не должно превышать $\pm 10\%$ согласно ГОСТ Р 32144-2013.

Произведем расчет отклонения напряжения для КТП в максимальном режиме работы.

Определим отклонение напряжения в конце кабельной линии 10 кВ.

$$V_1 = \frac{U_1 - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{6288,91 - 6000}{6000} \cdot 100\% = 4,89\%.$$

Определим отклонение напряжения на низкой стороне трансформатора:

$$V_2 = \frac{U_2 - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{4861,22 - 6000}{6000} \cdot 100\% = 1,61\%.$$

7 Расчет осветительной сети цеха №3, №4 камнеобрабатывающего завода ООО «ПК Саянмрамор»

7.1 Светотехнический и электротехнический расчет осветительной сети

На проектируемом предприятии около десяти процентов потребляемой электроэнергии затрачивается на электрическое освещение. Правильное выполнение осветительных установок способствует рациональному использованию электроэнергии, улучшению качества выпускаемой продукции, повышению производительности труда, уменьшению количества аварий и случаев травматизма, а так же снижению утомляемости рабочего персонала.

Проектирование осветительных установок заключается в разработке светотехнического и электрического разделов проекта.

В светотехническом разделе решаются следующие задачи:

- выбор типа источников света и светильников;
- намечаются наиболее целесообразные высоты установки светильников и их размещение;
- определяются качественные характеристики осветительных установок.

Электрическая часть проекта включает в себя:

- выбор схемы питания осветительных установок;
- выбор сечений и марок проводов, а так же способов их прокладки.

7.1.1 Светотехнический расчет осветительной сети

А) Расчёт рабочего освещения

Размещение светильников определяется следующими размерами:

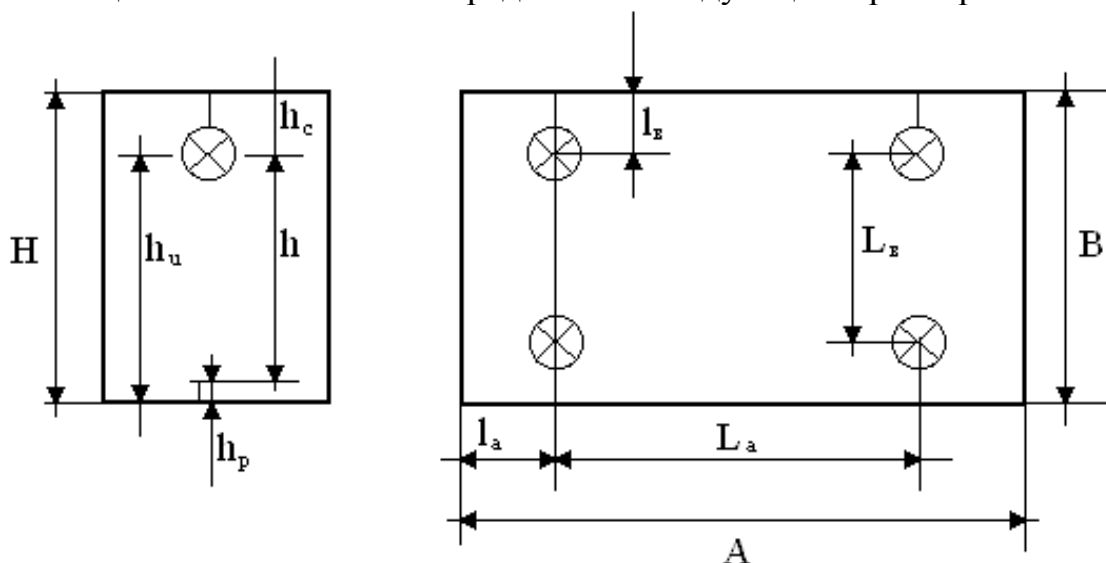


Рисунок 7.1 – Размещение светильников

h_c – высота подвески светильников, м; h_p – высота рабочей поверхности, м; h_u – высота подвеса светильников над полом, м; h – расчетная высота, м; H – высота здания, м; l_a – расстояние от стенки до светильников в поперечной оси, м; l_b – расстояние от стенки до светильников в продольной оси, м; L_a – расстояние между светильниками в продольной оси, м; L_b – расстояние между светильниками в поперечной оси, м; A – длина помещения, м; B – ширина помещения, м.

Основное требование при выборе расположения светильников заключается в доступности при их обслуживании, условие экономичности.

Размеры 120x24x10. согласно высота рабочей поверхности $h_b =$ от 0,8 до 1 м, а высота подвеса h_c определяется конструкцией светильника и выбирается по справочной литературе. Для ламп CL принимаем $h_c = 1,2$ м.

$$h = H - h_p - h_c \quad (7.1)$$

$$h = 10 - 0,8 - 1,2 = 8 \text{ м.}$$

Для принятого светильника находим значение $\lambda_{\text{э}}$ - отношение расстояния между светильниками или рядами светильников. По таблице 10.4 [13] принимаем $\lambda_{\text{э}} = 0,83$.

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{L_A}{h} \quad (7.2)$$

Из выражения находится L_A : $L_A = \lambda_{\text{э}} \cdot h = 1 \cdot 8 = 8$ м.

Количество светильников в ряду:

$$n_A = \frac{A}{L_A} = \frac{120}{8} = 15$$

При $L_A=8$ м, в цеху можно разместить 15 рядов светильников.

Расстояние от стены до светильника определим по формуле:

$$l_A = \frac{A - L_A(n - 1)}{2} \quad (7.3)$$

$$l_A = \frac{120 - 8 \cdot (15 - 1)}{2} = 4 \text{ м}$$

Примем расстояние между рядами $L_B = 6$ м, тогда количество рядов будет равно:

$$n_B = \frac{B - 2 \cdot l_B}{L_B} \quad (7.4)$$

$$n_B = \frac{24 - 2 \cdot 6}{4} = 4$$

Расстояние от крайнего ряда до стены:

$$l_B = \frac{B - L_B(n - 1)}{2} \quad (7.5)$$

$$l_B = \frac{24 - 6 \cdot (4 - 1)}{2} = 3 \text{ м}$$

Вычислим общее количество светильников в рассматриваемом помещении (цех №3, №4).

$$N = n_A \cdot n_B \quad (7.6)$$

Количество светильников:

$$N = 15 \cdot 4 = 60$$

Расчёт осветительной установки выполним методом коэффициента использования светового потока. При расчёте по этому методу световой поток ламп в каждом светильнике, необходимый для создания заданной минимальной освещённости, определяется по формуле, лм:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K_{\text{зап}} \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta} \quad (7.4)$$

где E_H – норма освещённости, $E_H = 300$ лк;

$K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, $K_{\text{зап}} = 1,5$;

F – площадь освещённой поверхности, м^2 ;

z – коэффициент минимальной освещённости, для СЛ $z = 1,15$;

N – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока источника света.

Коэффициент использования светового потока является функцией индекса помещения i , который определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{120 \cdot 24}{8 \cdot (120 + 24)} = 2,5 \quad (7.5)$$

Кроме того необходимо знать коэффициенты отражения поверхностей. Принимаем, что стены и потолки побелены, следовательно:

$$\rho_{\text{п}} = 0,5$$

$$\rho_{CT} = 0,3$$

$$\rho_P = 0,1$$

Тогда $\eta = 0,71$ [4, табл.5.10]

$$\Phi_{расч} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot (120 \cdot 24) \cdot 1,15}{60 \cdot 0,71} = 34985 \text{ лм}$$

По значению светового потока выбирается стандартная лампа, так чтобы её поток отличается от расчётного значения Φ на -10%... + 20%.

Берём ближайшее большее значение [11, табл.2.15]: $\Phi_{ном} = 35000$ лм.

Этот световой поток соответствует современной индукционной лампе с мощностью 250 Вт (CL 250 аналог ДРЛ 700).

Таблица 7.1- Параметры ламп

Тип лампы	Мощность Вт	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А		Световой поток, лм, после 100ч горения	Размер		Тип цоколя
			рабочий	пусковой		D	L	
CL 250	250	140	750	16,50	35000	152	368	E40

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{ном} - \Phi_{расч}}{\Phi_{ном}} \cdot 100\% = \frac{35000 - 34985}{35000} \cdot 100\% = 0,04\% < 20\% \quad (7.6)$$

Суммарная расчётная осветительная нагрузка по цеху:

$$P_{р.о.} = P_l \cdot N \cdot K_c \cdot K_{ПРА} = 250 \cdot 60 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 15675 \text{ Вт} = 15,7 \text{ кВт}, \quad (7.7)$$

где $K_c = 0,95$ – коэффициент спроса

$K_{ПРА} = 1,1$ – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре.

Реактивная составляющая:

$$Q = P \cdot \text{tg}(\varphi) = 15,7 \cdot 1,44 = 22,6 \text{ кВар} \quad (7.8)$$

7.1.2 Расчёт аварийного освещения

Аварийное освещение должно устраиваться в помещениях, где внезапное отключение рабочего освещения может привести к тяжёлым последствиям для людей и технологического оборудования. При этом освещённость на рабочих поверхностях должна составлять не менее 5% освещённости, установленной для рабочего освещения этих поверхностей при системе общего освещения.

Расчёт производим по формулам аналогичным расчёту рабочего освещения. При этом принимаем $E_{ав} = 5\% \cdot E_{ном} = 0,05 \cdot 300 = 15$ Лк. Для аварийного освещения используются энергосберегающая лампа. Согласно ПУЭ размещаем светильники аварийного освещения по стенам на высоте 2,5 м.

Принимаем к расчёту светильник ЭСАО – 3, откуда из [3, табл.10.4] принимаем

$$\lambda_s = 1,1; L_a = \lambda_s \cdot h = 1,1 \cdot 2,5 = 2,75 \text{ м}$$

Принимаем $L_a = 6$ м.

Рассчитаем общее число ламп, шт, световой поток, лм, и индекс помещения, при $E_H = 15$ лк, $K_{зап} = 1,5$ и $z = 1,15$:

$$N = 20 \cdot 2 = 40;$$

$$i = \frac{120 \cdot 24}{2,5 \cdot (120 + 24)} = 8;$$

Откуда принимаем $\eta = 0,74$ для светильника типа НСП-07 [11, табл.5 – 5]

$$\Phi = \frac{15 \cdot 1,5 \cdot (120 \cdot 24) \cdot 1,15}{40 \cdot 0,74} = 2518 \text{ лм};$$

По [11, табл.2 – 10] выбираем лампу типа глоб GL95 25Вт с параметрами $P_{ном} = 25$ Вт, $\Phi_{ном} = 2500$ лм.

Таблица 7.2 - Параметры ламп

Тип лампы	$P_{ном}$, Вт	$\Phi_{ном}$, лм	Размеры, мм		Цоколь
			диаметр	длина	
GL95-25	25	2500	81	130	E27

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{ном} - \Phi_{расч}}{\Phi_{ном}} \cdot 100\% = \frac{2500 - 2518}{2500} \cdot 100\% = -0,72\% > -10\%, \text{ что допустимо.}$$

Установленная мощность ламп равна:

$$P = N \cdot P_{ном} = 40 \cdot 25 = 1000 \text{ Вт}$$

Расчётная мощность ламп равна:

$$P_{расч} = P \cdot K_c \cdot K_{ПРА} = 1000 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 1045 \text{ Вт}$$

где $K_c = 0,95$ – коэффициент спроса

$K_{ПРА} = 1,1$ – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре.

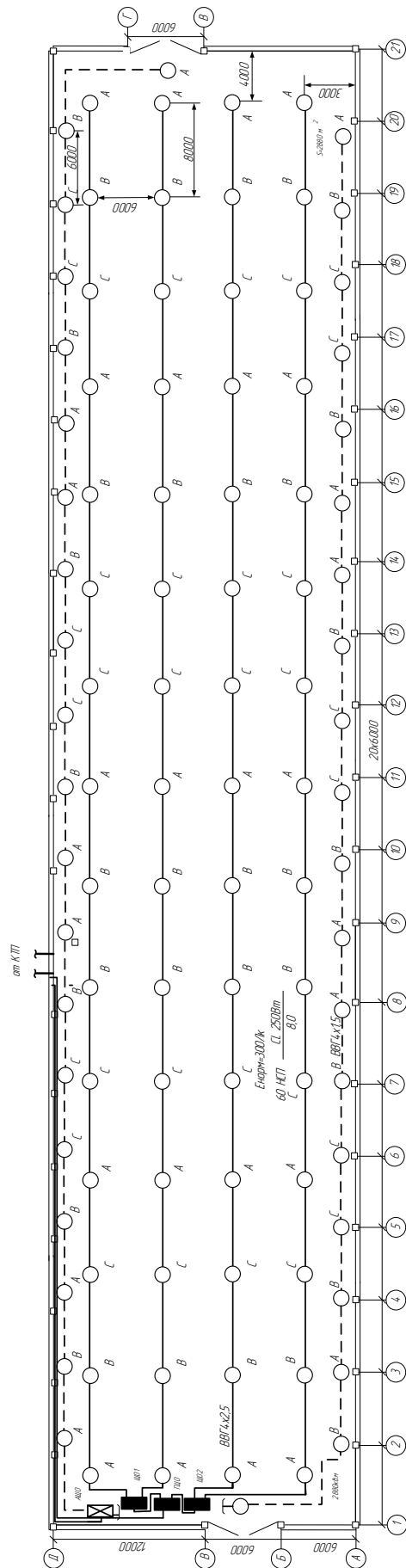


Рисунок 7.2 - Схема размещения светильников рабочего и аварийного освещения.

7.2 Электротехнический расчет осветительной сети

7.2.1 Расчёт рабочего освещения

Электрический расчёт освещения заключается в определении сечения проводников осветительной сети, в выборе типа и расположения групповых ЩО и главных ЩО.

Выбор проводников осветительной сети производится по следующим условиям:

- 1) должна обеспечиваться достаточная механическая прочность проводников;
- 2) прохождение тока нагрузки не должно вызывать перегрев проводника $I_{p.o} \leq I_{длит.доп}$;
- 3) у системы света должно поддерживаться определенное значение напряжения;
- 4) при коротких замыканиях должны срабатывать защитные аппараты.

Для светильников общего назначения рекомендуется напряжение не выше 380/220В переменного тока.

Питание источников света осуществляется от групповых щитков групповыми линиями. Запрещается присоединение сетей освещения всех видов к распределительной силовой сети.

Светильники аварийного освещения для продолжения работы, а также для эвакуации из зданий должны быть присоединены к независимому источнику питания.

Электрические осветительные сети выполняются проводами, кабелями и осветительными шинопроводами в основном с алюминиевыми жилами.

Будем применять тросовую прокладку проводки. Выбираем стальной трос диаметром 2 мм.

Для выравнивания осветительной нагрузки применяют распределение светильников по фазам. Пофазное распределение выполняется относительно фазы и нуля. Рассмотрим пофазное распределение осветительной нагрузки в группе.

$$\Sigma M = \Sigma P_i \cdot l_i \quad (7.9)$$

Произведём расчёт нагрузок в фазах для ряда 1:

$$\Sigma M_A = P_n l_1 + P_n (l_1 + 3l) + P_n (l_1 + 7l) + P_n (l_1 + 11l) + P_n (l_1 + 14l) = P_n (l_1 + 35l) = 0,7(5 \cdot 10 + 35 \cdot 8) = 231 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$\Sigma M_B = P_n (l_1 + l_1) + P_n (l_1 + 5l) + P_n (l_1 + 6l) + P_n (l_1 + 10l) + P_n (l_1 + 13l) = P_n (l_1 + 35l) = 0,75(5 \cdot 10 + 35 \cdot 8) = 231 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Нагрузка между фазами распределена равномерно.

2-ой, 3-ий, 4-ый ряды считаются аналогично.

В качестве примера рассчитаем токи в фазах для первой группы:

$$I = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} \quad (7.10)$$

Для ламп типа CL, с учётом пускорегулирующей аппаратуры значения $\cos(\varphi)=0,57$.

$$I_{POA} = \frac{P}{U_{\phi} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{250 \cdot 5}{220 \cdot 0,57} = 27,9 A$$

$$I_{POB} = \frac{P}{U_{\phi} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{250 \cdot 5}{220 \cdot 0,57} = 27,9 A$$

$$I_{POC} = \frac{P}{U_{\phi} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{250 \cdot 5}{220 \cdot 0,57} = 27,9 A$$

Выбираем минимально допустимое по механической прочности сечение жилы алюминиевого провода.

$$S1 = \frac{M}{\Delta U \cdot K_c} = \frac{231}{3,3 \cdot 7,4} = 9,4 \text{ мм}^2 \quad (7.11)$$

где $\Delta U = 3,3$ - допустимые потери напряжения.

$K_c=7,4$ – коэффициент, зависящий от схемы питания [3, табл.10.7]

Принимаем сечение 10 мм² и определяем потери напряжения в каждой фазе первого ряда:

$$\Delta U = \frac{M}{s \cdot K_c} \quad (7.12)$$

$$\Delta U_A = \frac{M_A}{s \cdot K_c} = \frac{231}{10 \cdot 7,4} = 3,1\%$$

$$\Delta U_B = \frac{M_B}{s \cdot K_c} = \frac{231}{10 \cdot 7,4} = 3,1\%$$

$$\Delta U_C = \frac{M_c}{s \cdot K_c} = \frac{231}{10 \cdot 7,4} = 3,1\%$$

Остальные расчёты сведём в таблицу 7.3.

Таблица 7.3 - Остальные расчёты

№ ряда	Моменты нагрузок			Токи в фазах			Потери напряжения			Кол-во ламп в фазах			Сечение S
	$\sum M_a$	$\sum M_b$	$\sum M_c$	I_a	I_b	I_c	ΔU_a	ΔU_b	ΔU_c	A	B	C	
Ряд 1	231,0	231,0	231,0	27,9	27,9	27,9	3,1	3,1	3,1	5	5	5	9,5
Ряд 2	210,0	210,0	210,0	27,9	27,9	27,9	2,8	2,8	2,8	5	5	5	8,6
Ряд 3	217,7	217,7	217,7	27,9	27,9	27,9	2,9	2,9	2,9	5	5	5	8,9
Ряд 4	237,0	237,0	237,0	27,9	27,9	27,9	3,2	3,2	3,2	5	5	5	9,7

Для питания рядов 1 и 2 используем ЩО1. Для питания рядов 3 и 4 используем ЩО2. Щиты освещения ЩО1 и ЩО2 сводим к ГЩО, который питается кабелем от КТП.

Определим сечение кабеля от ЩО1 до ГЩО:

Суммарная расчётная осветительная нагрузка:

$$P_{p.o.} = P_{л} \cdot N \cdot K_c \cdot K_{ПРА} = 700 \cdot 30 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 21950 \text{ Вт} = 21,95 \text{ кВт},$$

где $K_c=0,95$ – коэффициент спроса

$K_{ПРА}=1,1$ – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре.

Реактивная составляющая:

$$Q_{p.o.} = P \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = 21,95 \cdot 1,44 = 31,6 \text{ кВар}$$

Тогда

$$S_{p.o.} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2} = \sqrt{21,95^2 + 31,6^2} = 38,5 \text{ кВА}$$

Для четырехпроводной трехфазной сети:

$$I_{p.o.} = \frac{S_{p.o.}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{38,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 58,5 \text{ А}$$

По механической прочности:

$$s1 = \frac{\sum M + \sum at}{\Delta U \cdot K_c}$$

где $\sum M$ - сумма моментов данного участка

$$\sum M = P_{p.o.} \cdot l = 21,95 \cdot 3,3 = 72,4 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$\sum am$ - сумма моментов всех ответвлений, питаемых данным участком,
 $a = 1,85$ - коэффициент приведения моментов, зависящий от числа проводников на участке и в ответвлениях [3, табл.10.8]

$$\sum am = 1,85 \cdot (0,7 \cdot 15) \cdot (5,1 + 0,5 \cdot 112) + 1,85 \cdot (0,7 \cdot 15) \cdot (4,2 + 0,5 \cdot 112) = 2356 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$\sum am = 1,85 \cdot (0,7 \cdot 15) \cdot (10 + 0,5 \cdot 112) + 1,85 \cdot (0,7 \cdot 15) \cdot (4 + 0,5 \cdot 112) + 1,85 \cdot (0,7 \cdot 15) \cdot (6,2 + 0,5 \cdot 112) + 1,85 \cdot (0,7 \cdot 15) \cdot (11,7 + 0,5 \cdot 112) = 4,97 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Расчётное сечение кабеля:

$$s = \frac{72,4 + 2356}{1,5 \cdot 44} = 36,8 \text{ мм}^2, \text{ где } K_c = 44$$

Для питания ЩО1 выбираем трёхфазный четырёхжильный кабель сечением $4 \times 35 \text{ мм}^2$.

Определяем потери в кабелях питающих группы:

$$\Delta U = \frac{\sum M + \sum am}{s \cdot K_c} = \frac{72,4 + 2356}{35 \cdot 44} = 1,58\%$$

Определим сечение кабеля от ЩО2 до ГЩО:

Суммарная расчётная осветительная нагрузка: $P_{p.o} = 21,95 \text{ кВт}$,

Реактивная составляющая: $Q_{p.o} = 31,6 \text{ кВар}$

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{ocв}^2 + Q_{ocв}^2} = \sqrt{21,95^2 + 31,6^2} = 38,5 \text{ кВА}$$

Для четырёхпроводной трёхфазной сети:

$$I_{p.o} = \frac{S_{p.o}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{38,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 58,5 \text{ А}$$

По механической прочности:

$$s_2 = \frac{\sum M + \sum am}{\Delta U \cdot K_c}$$

$$\sum M = P_{p.o} \cdot l = 21,95 \cdot 3,3 = 72,4 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$\sum am = 1,85 \cdot (0,7 \cdot 15) \cdot (6,8 + 0,5 \cdot 112) + 1,85 \cdot (0,7 \cdot 15) \cdot (11,8 + 0,5 \cdot 112) = 2537 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Расчётное сечение кабеля:

$$s = \frac{72,4 + 2537}{1,5 \cdot 44} = 39,5 \text{ мм}^2$$

Для питания ЩО2 выбираем трёхфазный четырёхжильный кабель сечением 4x50 мм².

Определяем потери в кабелях питающих группы:

$$\Delta U = \frac{\sum M + \sum am}{s \cdot K_c} = \frac{72,4 + 2537}{50 \cdot 44} = 1,19\%$$

Определим сечение кабеля от ГЩО до КТП.

$$P_{p.o} = P_{л} \cdot N \cdot K_c \cdot K_{ПРА} = 700 \cdot 60 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 43890 \text{ Вт} = 43,89 \text{ кВт},$$

Реактивная составляющая:

$$Q_{p.o} = P \cdot \text{tg}(\varphi) = 43,89 \cdot 1,44 = 63,2 \text{ кВар}$$

Тогда

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{ocв}^2 + Q_{ocв}^2} = \sqrt{43,89^2 + 63,2^2} = 76,9 \text{ кВА}$$

Для четырёхпроводной трёхфазной сети:

$$I_{p.o} = \frac{S_{p.o}}{\sqrt{3} \cdot U_k} = \frac{76,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 116,9 \text{ А}$$

По механической прочности:

$$s_2 \frac{\sum M + \sum am}{\Delta U \cdot K_c}$$

$$\sum M = P_{p.o} \cdot l = 43,89 \cdot 3,6 = 158,0 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Расчётное сечение кабеля:

$$s = \frac{158 + 144,8}{1,5 \cdot 44} = 4,5 \text{ мм}^2$$

Для питания ГЩО выбираем трёхфазный четырёхжильный кабель сечением 4x70 мм².

В качестве ЩО1 выбираем: ОЩВ-6 с $I_{\text{НОМ}}=63$ А и автоматическим выключателем АЕ-146М $I_{\text{НОМ}}=63$ $I_{\text{уст}}=63$ А. ЩО запитан кабелем АВВГ сечением 4×35 мм² длиной 3,3 м от ГЩО.

В качестве ЩО2: ОЩВ-6 с $I_{\text{НОМ}}=63$ А и автоматическим выключателем ВА 5125 $I_{\text{НОМ}}=63$ $I_{\text{уст}}=63$ А. ЩО запитан кабелем АВВГ сечением 4×35 мм² длиной 3,3 м от ГЩО.

В качестве ГЩО: ПР8501 048 21УЗ с $I_{\text{НОМ}}=160$ А и автоматическим выключателем ВА 5135 $I_{\text{НОМ}}=160$. ГЩО запитан кабелем АВВГ сечением $3 \times 70 + 1 \times 35$ мм² длиной 95 м от 0,38кВ трансформатора.

7.2.2 Расчёт аварийного освещения

Расчёт аварийного освещения производим аналогично

Таблица 7.4 - Расчёт аварийного освещения

№ ряда	Моменты нагрузок			Токи в фазах			Потери напряжения			Кол-во ламп в фазах			Сечение	
	$\sum M_a$	$\sum M_b$	$\sum M_c$	I_a	I_b	I_c	ΔU_a	ΔU_b	ΔU_c	А	В	С	S	S _{но} м
Ряд 1	97,8	97,8	93,6	6,4	6,4	5,5	3,30	3,30	3,16	7	7	6	4,0	4
Ряд 2	94,8	96,4	92,4	6,4	6,4	5,5	3,20	3,26	3,12	7	7	6	3,9	4

Для ламп аварийного освещения применяем кабель 4×4 мм² марки АВВГ.

Определим сечение кабеля от щита аварийного освещения до КТП:

Суммарная расчётная осветительная нагрузка по цеху:

$$P_{p.o} = P_l \cdot N \cdot K_c \cdot K_{\text{ПРА}} = 200 \cdot 40 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 8360 \text{ Вт} = 8,36 \text{ кВт},$$

где $K_c=0,95$ – коэффициент спроса

$K_{\text{ПРА}}=1,1$ – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре.

Реактивная составляющая:

$$Q_{p.o} = P \cdot \text{tg}(\varphi) = 8,36 \cdot 1,44 = 12,0 \text{ кВар}$$

Тогда

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{8,36^2 + 12,0^2} = 14,6 \text{ кВА}$$

Для четырёхпроводной трёхфазной сети:

$$I_{p.o} = \frac{S_{p.o}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{14,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 22,2 \text{ А}$$

По механической прочности:

$$s = \frac{\sum M + \sum am}{\Delta U \cdot K_c}$$

где $\sum M$ - сумма моментов данного участка

$\sum am$ - сумма моментов всех ответвлений, питаемых данным участком,
 $a=1,85$ – коэффициент приведения моментов, зависящий от числа проводников на участке и в ответвлениях [3, табл.10.8]

$$\sum am = 1,85 \cdot (0,2 \cdot 20) \cdot (15 + 0,5 \cdot 120) + 1,85 \cdot (0,2 \cdot 20) \cdot (7,3 + 0,5 \cdot 120) = 1053 \text{кВт} \cdot \text{м}$$

Расчётное сечение кабеля:

$$s = \frac{37,6 + 1053}{1,5 \cdot 44} = 16,5 \text{мм}^2$$

Для питания групп потребителей, выбираем трёхфазный четырёхжильный кабель сечением $3 \times 25 + 1 \times 10 \text{ мм}^2$, $K_c=44$.

Определяем потери в кабелях питающих группы:

$$\Delta U = \frac{\sum M + \sum am}{s \cdot K_c} = \frac{37,6 + 1053}{25 \cdot 44} = 1,0\%$$

Для питания аварийного освещения выбираем ЩО типа ОЩВ-6-010-25А с $I_{\text{ном}}=25\text{А}$ и автоматическим выключателем ВА 5125 $I_{\text{ном}}=63\text{А}$ $I_{\text{уст}}=25\text{А}$. Щит освещения запитан кабелем АВВГ сечением 25мм^2 длиной 100 м от шины 0,38 кВ трансформатора.

8 Разработка вариантов схем цехового электроснабжения

Характерной особенностью схем внутрицехового распределения электроэнергии является большая разветвленность сети и наличие большого количества коммутационно-защитной аппаратуры, что оказывает значительное влияние на технико-экономические показатели и на надежность системы электроснабжения. На выбор схемы и конструктивное исполнение цеховой сети оказывают влияние такие факторы, как степень ответственности приемников электроэнергии, режимы их работы и размещение по территории цеха, номинальные токи и напряжения.

Расчётную нагрузку на 2 уровне, создаваемую группой электроприёмников, определяем по методу коэффициентов расчетной активной нагрузки (в соответствии с РТМ 36.18.32.492).

Зная размещение электроприёмников на генплане, расчётные нагрузки на 1 уровне, местоположение цеховой трансформаторной подстанции, намечаем два варианта выполнения схем внутрицехового электроснабжения: магистральную - рисунок 8.3 и радиальную - рисунок 8.4.

Радиальная схема электроснабжения представляет собой совокупность линий цеховой электрической сети, отходящих от РУ низшего напряжения КТП и предназначенных для питания небольших групп приемников электроэнергии, расположенных в различных местах цеха.

Радиальные магистрали предназначены для питания приемников малой и средней мощности, равномерно распределенных вдоль линии магистрали.

Таким образом, определяем узлы 2-го уровня электроснабжения, для которых будет определяться расчётная нагрузка (сборки, шкафы, силовые пункты, шинопроводы).

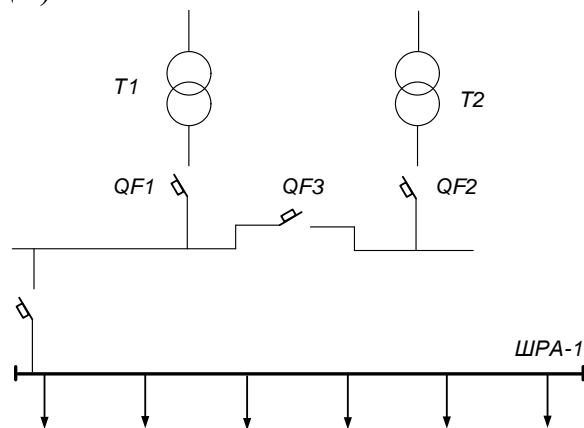


Рисунок 8.1 - Первый вариант схемы электроснабжения

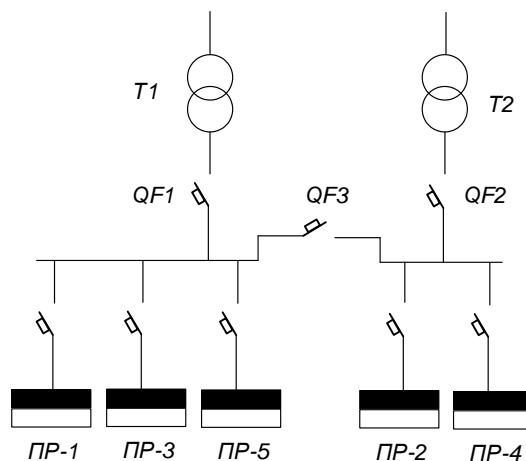


Рисунок 8.1 - Второй вариант схемы электроснабжения

8.1 Определение расчетных электрических нагрузок и пиковых токов для выбора параметров защитных аппаратов и токоведущих элементов цеховой сети

8.1.1 Определение расчетных электрических нагрузок и пусковых токов первого уровня электроснабжения

Методика расчета электрических нагрузок и пусковых токов первого уровня электроснабжения представлена в пункте 2.2 настоящей работы. Результаты расчета представлены в таблице 8.1.

8.1.2 Определение расчетных электрических нагрузок и пиковых токов методом коэффициентов расчетной активной нагрузки (в соответствии с РТМ 36.18.32.4-92) для выбора параметров защитных аппаратов и токоведущих элементов цеховой сети

Расчётную нагрузку на 2 уровне, создаваемую группой электроприёмников, определяем методом коэффициентов расчетной нагрузки в соответствии с РТМ 36.18.32.4-92.

При расчете электрических нагрузок используется специальная таблица, порядок заполнения таблицы описан в пункте 2.2. Результаты расчетов сведем в таблицы 8.2 – для первого варианта схемы электроснабжения и 8.3 для второго.

8.2 Расчет параметров элементов электроснабжения для вариантов схем электроснабжения цехов №3, №4 ООО «ПК «Саянмрамор»

8.2.1 Выбор марок распределительных пунктов и шинопроводов

Выбор СП производим по токовой нагрузке СП и необходимому числу присоединений.

Таблица 8.4- Выбор силовых пунктов

Приёмник	I _м раб, А	I _{ном} , А	Число присоединений		Марка	Цена на ПР, руб.
			Необход и мое	Номинальное		
ПР1	349,8	400	10	10	ПР8503-1133-21УЗ	8740
ПР2	333,8	400	6	8	ПР8503-1132-21УЗ	8130
ПР3	432,9	630	8	8-трехполюсные	ПР8501-055-21УЗ	6270
ПР4	260	400	8	8-трехполюсные+8-однополюсных	ПР8503-1132-21УЗ	5560
ПР5	229,3	250	6	8-трехполюсные+4-однополюсные	ПР8804-1014-21УЗ	6810
Итого:						35510

Выбор ШР Производим по значениям токов рассчитанных на втором уровне электроснабжения.

Таблица 8.5 - Выбор ШР

Обозначение	Марка	I _м раб, А	I _м ном,А	L, м	Цена, руб/м	Стоимость, руб.
ШР-1	ШМА73-1600-32-1УЗ	642,7	1000	114	1658,97	189123

8.2.2 Выбор параметров коммутационно – защитных аппаратов уставок их защиты

В качестве коммутационно-защитных аппаратов выбираем автоматические выключатели.

При выборе автоматических выключателей необходимо учитывать следующие требования:

номинальное напряжение выключателя не должно быть ниже напряжения сети;

номинальный ток расцепителя должен быть не меньше наибольшего расчётного тока нагрузки, длительно протекающего по защищаемому элементу.

Расцепитель для автоматических выключателей:

$$I_{\text{ном.расц.}} \geq I_{\text{рmax}} \quad (8.13)$$

Ток отсечки автомата должен быть больше пускового тока двигателей $I_{\text{отс}} > 1.25I_{\text{пуск}}$, где $K_3 = 1.2-1.3$ – коэффициент запаса.

Ток отсечки принимаем равным десятикратным номинальному току автомата.

Таблица 8.6- Выбор коммутационно-защитных аппаратов.

№ п/п	$I_{\text{н}}$, А	$I_{\text{пуск}}$, А	$I_{\text{ном.авт.}}$, А	Тип автомата	Цена, руб.
1	2	3	4	5	6
1	114,2	342,7	400	ВА-5135	1220
2	114,2	342,7	400	ВА-5135	1220
3	114,2	342,7	400	ВА-5135	1220
4	114,2	342,7	400	ВА-5125	1220
5	114,2	342,7	400	ВА-5125	1220
6	114,2	342,7	400	ВА-5135	1220
7	114,2	342,7	400	ВА-5135	1220
9.	146,1	438,2	630	ВА-5125	1400
10,11	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220
12,14	24,9	74,7	80	ВА-5125	296
15	227,2	681,6	2x400	ВА-5125	1220
16	107,3	321,9	320	ВА-5135	1220
17	107,3	321,9	320	ВА-5135	1220
18	134,1	402,4	630	ВА-5135	1400
19	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220
20	97,9	293,7	400	ВА-5135	1220
21	163,2	489,5	630	ВА-5135	1400
22	323,7	971,0	2x630	ВА-5135	1400
23	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220
24	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220
25	146,1	438,2	630	ВА-5135	1400
26	163,2	489,5	630	ВА-5135	1400
28	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220
29	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220
30	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220

Окончание таблицы 8.6

1	2	3	4	5	6
31	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220
32	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220
33	126,3	379,0	400	ВА-5135	1220
34	44,8	134,5	160	ВА-5135	250
36	22,4	67,2	80	ВА-5135	120
37	52,2	156,7	160	ВА-5135	250
38	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220
42	122,4	367,1	400	ВА-5135	1220
39	8,3	25,0	40	ВА-5135	80
40	49,1	147,3	160	ВА-5135	250
41	65,3	195,8	250	ВА-5135	280
8,43	56,8	170,4	250	ВА-5135	280
35,27,13	23,8	71,4	80	ВА-5135	120

Выбор автоматов для защиты СП и ШМА

Номинальный ток автоматов выбираем по пиковому СП и ШМА.

$$I_{\text{пик}} = (I_p - k_{\text{и}} I_{\text{ном}}) + I_{\text{н.мах}}, \quad (8.14)$$

где I_p – рабочий ток СП (ШРА), $k_{\text{и}}$ – коэффициент использования, $I_{\text{ном}}$ – ток самого мощного двигателя группы, $I_{\text{н.мах}}$ – пусковой ток самого мощного двигателя группы.

Остальные расчёты сведём в таблицы:

Таблица 8.12- Выбор автоматов

Наименование ЭП	I_m , А	$I_{\text{уст}}$, А	Тип автомата	$I_{\text{ном.авт.}}$, А	Цена, руб.
ШР-1	1317,8	1600	ВА-5139	1600	7692

Таблица 8.13- Выбор автоматов

№ п/п	Наименование ЭП	I_m , А	$I_{\text{уст}}$, А	Тип автомата	$I_{\text{ном.авт.}}$, А	Цена, руб.
ПР1	ПР8503-1133-21УЗ	349,8	400	ВА-5135	400	4500
ПР2	ПР8503-1132-21УЗ	333,8	400	ВА-5135	400	4500
ПР3	ПР8501-055-21УЗ	432,9	630	ВА-5139	630	7692
ПР4	ПР8503-1132-21УЗ	260	400	ВА-5135	400	4500
ПР5	ПР8804-1014-21УЗ	229,3	250	ВА-5135	250	1880

Расчёт троллейных линий

Троллейные линии выполняются из профилированной стали.

Сечение выбирается по нагреву длительным током нагрузки и проверяется по потерям напряжения. Суммарная потеря напряжения от

источника тока до двигателя не должна превышать 12%. Распределяясь на потерю напряжения в питающей линии $\Delta U_{mp} = 6 - 7\%$.

Рассчитаем троллейную линию.

При выборе по нагреву расчётный ток принимаем равным току тридцатиминутной максимальной нагрузки.

$$I_{МАКС} = I_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} / (\sqrt{3} \cdot U) = \sqrt{(P_H \cdot K_{30})^2 + (P_H \cdot K_{30} \cdot \operatorname{tg} \varphi)^2} / (\sqrt{3} \cdot U) \quad (8.15)$$

$$I_{30} = \frac{\sqrt{(25.8 \cdot 0,6)^2 + (25.8 \cdot 0,6 \cdot 1,7)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 41.2 \text{ A}$$

где P_H , U – номинальная активная мощность и напряжение.

K_{30} – коэффициент спроса активной мощности, определяемый по кривым [5, рис.6–12]

По данному току выбираем профиль из угловой стали [5, рис.6–12].

Таблица 8.14- Выбор троллейных линий

№ профиля	Размеры, мм	Длительно допустимый переменный ток, А
2,5	25 x 25 x 3	155

Выбранный размер угловой стали проверяют на допустимую потерю напряжения:

$$\Delta U = m \cdot I_{пик} \cdot l, \quad (8.16)$$

l – расстояние от точки присоединения питающей линии до наиболее удаленного конца троллейной линии, м.

m – удельная потеря напряжения, %/м

Пиковый (кратковременный) ток группы электроприёмников

$$I_{пик} = I_{пуск.макс} + (I_{макс} - I_{ном}) \quad (8.17)$$

где $I_{пуск.макс}$ – наибольший из пусковых токов двигателей в группе;

$I_{макс}$ – максимальный расчётный ток, принимаемый для кранов I_{30} ;

$I_{ном}$ – номинальный ток наибольшего двигателя.

Таблица 8.15 - Потери напряжения

№ Э.П.	$P_{\text{потр}}$, кВт	$\text{tg } \varphi$	P_p , кВт	K_{30}	$I_{\text{макс}}$	$I_{\text{пуск.макс}}$	$I_{\text{ном}}$	$I_{\text{пик}}$	l, м	m, %/м	ΔU , %
8	25,8	1,7	22,9	0,6	41,2	67,2	22,4	97,1	63,0	0,07	4,41
43	25,8	1,7	22,9	0,6	41,2	67,2	22,4	97,1	63,0	0,07	4,41

Потери напряжения в допустимых пределах.

8.2.3 Выбор сечений проводов и кабельных линий

В зависимости от принятой схемы электроснабжения и условий окружающей среды цеховые электрические сети выполняются шинопроводами, кабельными линиями и проводами.

Первый вариант схемы – магистральный, выполняется шинопроводами и кабелями.

Выберем кабели, питающие отдельные электроприёмники. Выбор кабелей производится по решению:

$$I_p \leq K_{с.н.} \cdot I_{\text{доп}} \quad (8.18)$$

где $K_{с.н.}$ – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей; $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток проводника, А.

Расчётный рабочий ток кабеля:

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U}; \quad (8.19)$$

P_p – расчётная мощность электроприёмника (группы электроприёмников).

Выбор допустимого тока проводим с учетом условий прокладки кабеля.

Согласно рассчитанным значениям рабочих токов кабелей выбираем сечения токопроводящих жил кабеля. Согласно ПУЭ выбираем кабели алюминиевые бронированные трёхжильные прокладываемые в воздухе.

Тип кабелей – АВВГ, т.е.:

А – алюминиевая жила,

В – винил-хлоридная изоляция,

В – винил-хлоридная оболочка,

Г – без бронированных защитных покровов.

Этот кабель выбран из-за его невысокой стоимости и неплохой надёжности, а также гибкости.

Выбор сечений кабельных линий от ШМА и СП до приёмников

В качестве примера рассмотрим выбор сечения кабельной линии для ЭП №1

Расчётный ток:

$$I_p = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{75,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 114,4 \text{ А};$$

По таблице П4.8 [3] выбираем кабель с наименьшим сечением: $F=50 \text{ мм}^2$ и $I_{ном}=136 \text{ А}$. Для остальных ЭП расчёт аналогичен, результаты расчётов сведём в таблицу 8.16

Таблица 8.16- Расчет для остальных ЭП

№ п/п	Наименование	$P_{ном},$ кВт	$Q_p,$ кВА	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А	$I_{доп},$ А	$F,$ мм ²
	1	2	3	4	5	6	7
1-7.	Супер-Бра №1	56,8	49,1	75,1	114,2	136	3x50+1x25
16-17.	Хенсель №2	48,7	51,0	70,5	107,3	109	3x35+1x16
9	Giga 3500	72,7	62,7	96	146,1	167	3x70+1x35
10,11.	VR/66	60,9	52,6	80,5	122,4	136	3x50+1x25
12.14.	Терцаго	12,4	10,7	16,4	24,9	29	3x4+1x2,5
21	DXS-7	81,2	70,1	107,3	163,2	167	3x70+1x35
15	LAM-2	113,1	97,6	149,4	227,2	236	3x120+1x70
18.19	Бретен №2	60,9	63,8	88,2	134,1	136	3x50+1x25
25	Диа-Бретен	72,7	62,7	96	146,1	167	3x70+1x35
26	КСМ-04	81,2	70,1	107,3	163,2	167	3x70+1x35
20	АЕГ-455	48,7	42,1	64,4	97,9	109	3x35+1x16
22	Левибритон 450/312	161,1	139	212,8	323,7	2x167	2(3x70+1x35)
23,24	VRS/12 №3	60,9	52,6	80,5	122,4	136	3x50+1x25
28-33.	Станок Диага №7	60,9	52,6	80,5	122,4	136	3x50+1x25
39	Сверлильный станок	4,1	3,6	5,5	8,3	29	3x4+1x2,5
34	Тибо	20,4	21,3	29,5	44,8	50	3x10+1x6
36	Грань	12,4	8	14,7	22,4	29	3x4+1x2,5
37	Хенсель полир	24,4	24,1	34,3	52,2	67	3x16+1x10
38,42.	ВР/66 №7	60,9	52,6	80,5	122,4	136	3x50+1x25
41	Аксия	32,5	28	42,9	65,3	67	3x16+1x10
40	Т-310	24,4	21,1	32,3	49,1	67	3x16+1x10
35,27,13	Кран мостовой 5 т	10,8	11,3	15,7	23,8	29	3x4+1x2,5
8,43	Кран мостовой	25,8	27	37,3	56,8	67	3x16+1x10

Выбор сечений КЛ, питающих ШМА

Производим по значениям токов, рассчитанных на втором уровне электроснабжения.

Таблица 8.18- Выбор сечений КЛ, питающих ШРА

Наименование электроприёмника	I_p раб, А	$I_{доп},$ А	$F,$ мм ²
ШР-1	1600	6x273	6(3x150+1x50)

Выбор сечений КЛ от КТП до СП

Выбор производим по значениям токов рассчитанных на втором уровне электроснабжения.

Таблица 8.19- Выбор сечений КЛ от КТП до СП

Приёмник	$P_{\text{ном}}$ приёмника, кВт	I_p раб, А	$I_{\text{доп}}$, А	F , мм ²
ПР1	230,2	349,8	2х204	2(3х95+1х50)
ПР2	219,7	333,8	2х167	2(3х70+1х35)
ПР3	284,9	432,9	2х236	3х120+1х70
ПР4	171,1	260	273	3х150+1х50
ПР5	150,9	229,3	236	3х120+1х70

8.3 Техничко-экономическое сравнение вариантов схемы цеховой сети

Техничко-экономические расчёты выполняют для выбора:

- 1) наиболее рациональной схемы электроснабжения цеха;
- 2) экономически обоснованного числа, мощности и режима работы трансформаторов КТП.

Целью технико-экономических расчётов является определение оптимального варианта схемы, параметров электросети и ее элементов. В технико-экономическом сравнении используют укрупненные показатели стоимости элементов системы электроснабжения.

При решении задач ТЭС основным критерием экономичности является минимум приведенных затрат:

$$Z = P_H \cdot K_{\Sigma} + I + Y, \quad (8.20)$$

где P_H – нормативный коэффициент равный 0,12;

K_{Σ} - единовременные капитальные вложения (цена электрооборудования);

$$I - \text{издержки} - I = \frac{I_a + I_p + I_o}{100} \cdot K_{\Sigma} + b_o \Delta A; \quad (8.21)$$

$I_a + I_o + I_p$ - удельные издержки на амортизацию, обслуживание и ремонт;

b_o - стоимость 1 кВт·час потерянной электроэнергии = 1,5 руб/кВтч;

$\Delta A = \Delta P \cdot \tau$ - потери электроэнергии;

$\tau = \left(0.124 + \frac{T_{\text{max}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760$ - время максимальных потерь;

Y – ущерб от недоотпуска электроэнергии.

$$\Delta z = \frac{z_{\max} - z_{\min}}{z_{\max}} \cdot 100\% \quad (8.22)$$

Таблица 8.20- Затраты по первому варианту

№	Длина линии, м	F, мм ²	Удельные капитальные вложения	Время максимальных потерь, час	Потери активной мощности,	Потери энергии в линии, кВт*ч	Капитальные вложения в линию, руб.	Цена коммутационных аппаратов, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
КЛ ШР-1	41,0	2(3x120+1x70)	138,00	2460,70	9,16	22533,40	11316,00	15384
Итого:					12,11	29802,40	18204,45	95880
ШР-1	114,0		1658,9				189122,6	
Итого по варианту							207327	95880
Стоимость 1 кВт·ч потерянной энергии, руб/кВт·ч								1,1
Издержки, связанные с потерей энергии, руб.								2384,19

Таблица 8.21 - Затраты по второму варианту

№	Длина линии, м	F, мм ²	Удельные капитальные вложения руб/м	Время максимальных потерь, час	Потери активной мощности, кВт	Потери энергии в линии, кВт*ч	Капитальные вложения в линию, руб.	Цена коммутационных аппаратов, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПР-1	78,4	3x70+1x35	90,3	2460,70	1,350	3322,116	7079,52	1880,00
ПР-2	68,2	3x50+1x25	65,10	2460,70	1,322	3253,050	4439,82	1880,00
ПР-3	53,2	3x70+1x35	90,3	2460,70	1,114	2740,381	4803,96	7692,00
ПР-4	55,5	3x70+1x35	90,3	2460,70	1,349	3320,040	5011,65	4500,00
ПР-5	86,4	4x16	27,1	2460,70	1,803	4436,891	2341,44	1880,00
Итого					12,05516	29664,129	33808,78	110611
	ПР8503 1133 21 У3						8740	
	ПР8503 1132 21 У3						8130	
	ПР8501 055 21 У3						6270	
	ПР-11 3086 21 У3						5560	
	ПР8804 1014 21 У3						6810	
Итого:							35510	
Итого по варианту							69319	110611
Стоимость 1 кВт·ч потерянной энергии, руб/кВт·ч								0,08
Издержки, связанные с потерей энергии, руб.								2373,13

Затраты на сооружение первого варианта схемы электроснабжения сети 0,4 кВ:

$$K_{\Sigma} = K_{кл}^{0,4кВ} + K_{КА0,4} + K_{ШР}$$

$$K_{КЛ0,4кВ} = 18204 \text{ руб.}$$

$$K_{КА0,4} = 95880 \text{ руб.}$$

$$K_{ШР} = 189123 \text{ руб.}$$

$$K_{\Sigma} = 18204 + 95880 + 189123 = 303207 \text{ руб.}$$

$$I_{КЛ0,4} = \frac{I_a + I_p + I_o}{100} \cdot K_{КЛ0,4} = \frac{6 + 0,8 + 2,5}{100} \cdot 18204 = 1693 \text{ руб.}$$

$$I_{КА0,4} = \frac{I_a + I_p + I_o}{100} \cdot K_{КА0,4} = \frac{3,5 + 2,9 + 3}{100} \cdot 95880 = 9013 \text{ руб.}$$

$$I_{ШР} = \frac{I_a + I_p + I_o}{100} \cdot K_{ШР} = \frac{3,5 + 2,9 + 3}{100} \cdot 189123 = 17778 \text{ руб.}$$

$$W = 2384 \text{ руб.}$$

$$I = I_{КЛ0,4} + I_{КА0,4} + I_{ШР} + W = 1693 + 9013 + 17780 + 2384 = 30867 \text{ руб.}$$

$$З = P_H \cdot K_{\Sigma} + I = 0,12 \cdot 303207 + 30867 = 67252 \text{ руб.}$$

Затраты на сооружение второго варианта схемы электроснабжения сети 0,4 кВ:

$$K_{\Sigma} = K_{кл}^{0,4кВ} + K_{КА0,4} + K_{ПР}$$

$$K_{кл0,4кВ} = 33809 \text{ руб.}$$

$$K_{ка0,4} = 110611 \text{ руб.}$$

$$K_{ПР} = 35510 \text{ руб.}$$

$$K_{\Sigma} = 33809 + 110611 + 35510 = 179930 \text{ руб.}$$

$$I_{КЛ0,4} = \frac{I_a + I_p + I_o}{100} \cdot K_{КЛ0,4} = \frac{6 + 0,8 + 2,5}{100} \cdot 33809 = 3144 \text{ руб.}$$

$$I_{K_{A0,4}} = \frac{I_a + I_p + I_o}{100} \cdot K_{K_{A0,4}} = \frac{3,5 + 2,9 + 3}{100} \cdot 110611 = 10397 \text{ руб}$$

$$I_{ШР} = \frac{I_a + I_p + I_o}{100} \cdot K_{ШР} = \frac{3,5 + 2,9 + 3}{100} \cdot 35510 = 3338 \text{ руб}$$

$$W = 2373 \text{ руб}$$

$$I = I_{K_{Л0,4}} + I_{K_{A0,4}} + I_{ШР} + W = 3144 + 10397 + 3338 + 2373 = 19253 \text{ руб.}$$

$$З = P_H \cdot K_{\Sigma} + I = 0,12 \cdot 179930 + 19253 = 40844 \text{ руб.}$$

$$\Delta З = \frac{З_{\max} - З_{\min}}{З_{\max}} \cdot 100\% = \frac{67252 - 40844}{67252} \cdot 100\% = 39,3\%$$

Поскольку разница между вариантами составляет более 5%, то выбираем второй вариант (радиальная схема), как экономически более выгодный.

8.4 Проверка оборудования в сети напряжением ниже 1000 В на отключающую способность и чувствительность к токам КЗ

8.4.1 Расчет токов трехфазного к.з. в сети напряжением ниже 1000 В

Ввиду большой электрической удалённости электроустановок напряжением до 1 кВ от электрической системы в качестве источника питания принимаем шины высокого напряжения понижающего трансформатора 6/0,4 кВ.

При напряжении до 1 кВ даже небольшое сопротивление оказывает существенное влияние на ток короткого замыкания. Поэтому в расчётах все сопротивления короткозамкнутой цепи, как индуктивные, так и активные. Кроме того, учитываем активные сопротивления всех переходных контактов в этой цепи, индуктивные сопротивления катушек выключателей и трансформаторов тока.

Для установок напряжением до 1 кВ при расчётах токов к.з. считаем, что мощность системы не ограничена и напряжение на высокой стороне цехового трансформатора является неизменным. Расчёт токов к.з. выполняем в именованных единицах: мощность – кВА, ток – А, напряжение – кВ, сопротивление – мОм.

$$r_{\Sigma 6кВ}^* = 16,073 \text{ о.е.};$$

$$x_{\Sigma 6кВ}^* = 72,779 \text{ о.е.}$$

Переведём в именованные единицы:

$$r_{\Sigma 6кВ} = r_{\Sigma 6кВ}^* \cdot \frac{U_{\delta a3}^2}{S_{\delta a3}} = 16,073 \cdot \frac{6,3^2}{1000} = 1,772 \text{ Ом};$$

$$x_{\Sigma 6кВ} = x_{\Sigma 6кВ}^* \cdot \frac{U_{\delta a3}^2}{S_{\delta a3}} = 72,779 \cdot \frac{6,3^2}{1000} = 8,024 \text{ Ом}.$$

Теперь необходимо привести напряжение ступени 6 кВ к ступени 0,4 кВ и, соответственно, пересчитать сопротивления:

$$r_{\Sigma 0.4} = r_{\Sigma 6кВ} (K_{mp})^2 = 1,772 \cdot \left(\frac{0,4}{6}\right)^2 = 2,8 \text{ мОм};$$

$$x_{\Sigma 0.4} = x_{\Sigma 6кВ} \cdot (K_{mp})^2 = 8,024 \cdot \left(\frac{0,4}{6}\right)^2 = 12,8 \text{ мОм}.$$

Для силовых трансформатора сопротивления, приведённые к ступени НН, мОм рассчитываются по формуле:

$$Z_{mp} = U_{\kappa} \cdot U_{н.н.}^2 \cdot 10^4 / S_{mp} \quad (8.23)$$

$$r_{mp} = \Delta P_{\kappa} \cdot U_{н.н.}^2 / S_{mp}^2 \quad (8.24)$$

$$x_{mp} = \sqrt{Z_{mp}^2 - r_{mp}^2} \quad (8.25)$$

Ток трёхфазного короткого замыкания:

$$I_{\kappa}^{(3)} = U_{н.н.} / \sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma}^2 + r_{\Sigma}^2} \quad (8.26)$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_{y\delta} = K_{y\delta} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa}, \quad (8.27)$$

где $K_{y\delta}$ - ударный коэффициент, если $\frac{x}{r} \leq 0.5$, то $K_{y\delta} = 1$, в других случаях $K_{y\delta}$ находится [3, рис.6.2, стр143].

Расчёт токов КЗ стороны на 0,4 кВ производится аналогично стороне 6 кВ, за исключением того обстоятельства, что учитываются также переходные сопротивления контактов введением в расчётную схему дополнительного активного сопротивления $R_{доб}$, мОм. Чем дальше находится шина, тем больше значение добавочного сопротивления.

Значения добавочного сопротивления:

а) для распределительных щитов на подстанциях 15 мОм;

б) для первичных цехов распределительных пунктов и на зажимах аппаратов, питаемых радиальными линиями от щитов ТП или от магистралей, 20 мОм;

в) для вторичных цеховых распределительных пунктов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов, 25 мОм.

Схема замещения для расчёта токов короткого замыкания представлена на рисунке 8.5

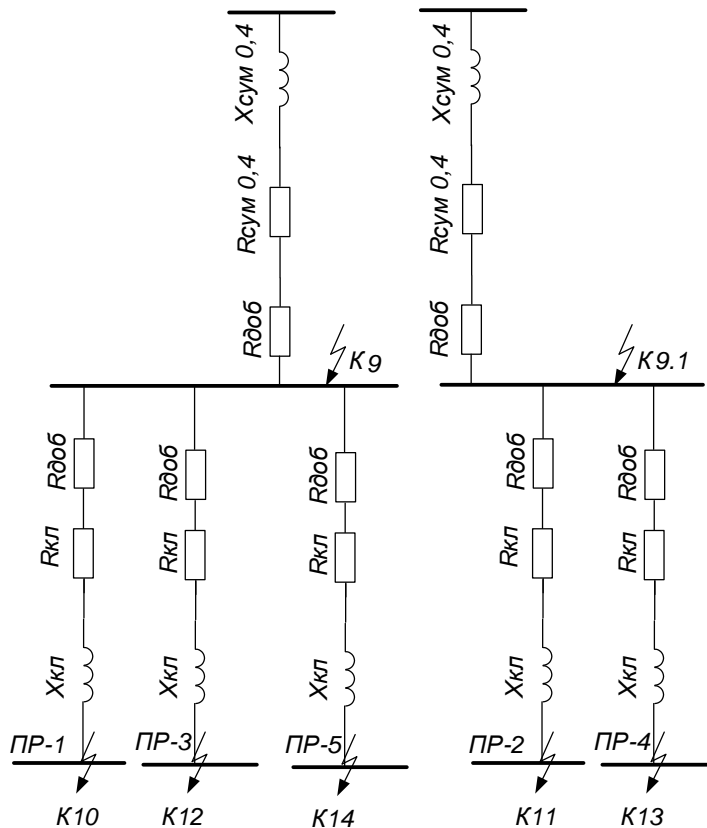


Рисунок 8.5 – Схема замещения

Сопротивление трансформатора КТП:

$$Z_{mp} = 5,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^4 / 1000 = 8,8 \text{ мОм},$$

$$r_{mp} = \Delta P_{\kappa} \cdot U^2_{ном.л} / S^2_{mp} = 12,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6 / 1000^2 = 2,0 \text{ мОм},$$

$$x_{mp} = \sqrt{8,8^2 - 2,2^2} = 8,521 \text{ мОм}.$$

Сопротивления сети до электроприёмника определяется по формуле:

$$R_{сум} = r_{кл} + r_{сн} + r_{mp}, \quad (8.28)$$

$$x_{сум} = x_{кл} + x_{сн} + x_{mp}. \quad (8.29)$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К12:

$$Z_{\Sigma 12} = \sqrt{(r_{\Sigma 0,4} + r_{ДОБ} + r_{КЛ})^2 + (x_{\Sigma 0,4} + x_{КЛ})^2} = \sqrt{(2,8 + 15 + 23,6)^2 + (12,8 + 3,3)^2} = 44,37 \text{ мОм}$$

$$I^3_{к12} = \frac{U_{н.н.о.м}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 12}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 44,37} = 5,20 \text{ кА}$$

$$\text{К12: } K_{y\partial} = 1,00 \quad i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 5,2 = 7,34 \text{ кА}$$

Для наглядности расчёт токов трёхфазного КЗ у электроприёмников сведём в таблицу 8.22

Таблица 8.22- Расчёт токов трёхфазного короткого замыкания

Точка К.З.	$R_{дооб},$ мОм	$r_{\Sigma},$ мОм	$x_{\Sigma},$ мОм	$Z_{\Sigma},$ мОм	$I^3_{кз},$ кА	X/R	$K_{y\partial},$ о.е.	$i_{y\partial},$ кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
К10	15	52,53	17,60	55,40	4,17	0,34	1,00	5,88
К11	15	60,08	17,06	62,46	3,70	0,28	1,00	5,21
К12	15	41,37	16,06	44,37	5,20	0,39	1,00	7,34
К13	15	42,39	16,20	45,38	5,09	0,38	1,00	7,18
К14	15	185,42	18,63	186,35	1,24	0,10	1,00	1,75

8.4.2 Проверка защитных аппаратов сети напряжением ниже 1000 В на отключающую способность

Проверку оборудования осуществляем по условиям электродинамической стойкости. При этом должно выполняться условие:

$$i_{y\partial} \leq I_{эс},$$

где $I_{эс}$ - ток электродинамической стойкости.

Проверка автоматических выключателей.

Проверяем автоматические выключатели по условиям электродинамической стойкости, по наибольшей отключающей способности.

Для защиты распределительных пунктов установлены выключатели серии ВА 51-39 и ВА 51-35 с номинальными токами расцепителей 1000А, 630А и 250А для которых $I_{эс} = 12,5$ кА и $I_{эс} = 25$ кА.

Проверяем по наибольшей отключающей способности:

$$i_{удСП1} = 6 < 12,5 \text{ кА},$$

$$i_{удШРА1} = 6,821 < 25 \text{ кА},$$

$$i_{удШРА2} = 7,443 < 25 \text{ кА}.$$

Выбранные выключатели удовлетворяют условиям проверки.

8.4.3 Расчет токов однофазного к.з. в сети напряжением ниже 1000 В

Для расчета $I_{кз}^{(1)}$ по ПУЭ рекомендуется следующая упрощенная формула:

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_T/3 + Z_{\Pi}} \quad (8.30)$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение сети; $Z_T/3$ - сопротивление силового трансформатора при однофазном замыкании на корпус, $Z_{\text{пров}}$ - полное сопротивление петли прямого и обратного провода линии или кабеля.

Полное сопротивление петли: фазный - нулевой провод :

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_{\Delta} + R_H + R_{TT} + R_A)^2 + (X' + X'' + X_C + X_{TT} + X_A)^2}, \quad (8.31)$$

где R_{ϕ} , R_H - суммарные активные сопротивления фазного и нулевого проводов всех участков рассчитываемой цепочки (ТП - ЭП - ТП).

R_{Δ} - сопротивление дуги в точке КЗ принимается равным 0,03 Ом; R_{TT} , X_{TT} - активное и индуктивное сопротивление трансформатора тока $R_{TT} = 0,00015$ Ом; $X_{TT} = 0,00021$ Ом; R_A , X_A - активное и индуктивное сопротивление автоматических выключателей $R_A = 0,0004$ Ом, $X_A = 0,001$ Ом; X_C - сопротивление питающей системы, принимается равным 0,0032 Ом при мощности КЗ системы 100 и 200 МВА; X' - внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, принимается равным 0,6 Ом/км; X'' - внутреннее индуктивное сопротивление проводов зануления. Учитывается только для проводов, выполненных из стали. [4, таблица 4,6б]

При расчете однофазных токов короткого замыкания будем учитывать сопротивление автоматических выключателей, которые включают в себя сопротивления катушек максимального тока автомата и переходное сопротивление контактов определенное по [4, таблица 4.4] и составляет для автоматов с номинальными токами расцепителя:

$$\begin{aligned} I_{рц,ном.} < 50A - R_A &= 0,015 \text{ Ом}, & X_A &= 0,009 \text{ Ом}, \\ I_{рц,ном.} = 50A - R_A &= 0,0055 \text{ Ом}, & X_A &= 0,0027 \text{ Ом}, \\ I_{рц,ном.} = 70A - R_A &= 0,00235 \text{ Ом}, & X_A &= 0,0013 \text{ Ом}, \\ I_{рц,ном.} = 100A - R_A &= 0,0013 \text{ Ом}, & X_A &= 0,00086 \text{ Ом}, \\ I_{рц,ном.} = 140A - R_A &= 0,00074 \text{ Ом}, & X_A &= 0,00055 \text{ Ом}, \\ I_{рц,ном.} = 200A - R_A &= 0,00036 \text{ Ом}, & X_A &= 0,00028 \text{ Ом}, \\ I_{рц,ном.} = 400A - R_A &= 0,00015 \text{ Ом}, & X_A &= 0,0001 \text{ Ом}, \\ I_{рц,ном.} = 600A - R_A &= 0,00012 \text{ Ом}, & X_A &= 0,000094 \text{ Ом}, \\ I_{рц,ном.} > 1000A - & \text{не учитывается.} \end{aligned}$$

Расчет токов однофазных коротких замыканий сведем в таблицу 8.23.

8.4.4 Проверка защитных аппаратов сети напряжением ниже 1000 В на чувствительность к токам КЗ

Проверка на чувствительность к токам однофазного КЗ проверяется по условию для автоматических выключателей с обратно зависимой от тока характеристикой $I = I_{н.расц}$: $I_{кз}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.расц}$. Проверка выполнена ранее, определен коэффициент чувствительности равный отношению тока однофазного короткого замыкания к номинальному току расцепителя. Все выбранные выключатели “проходят” по чувствительности.

8.5 Расчет потерь напряжения в цеховой сети

Произведем расчёт потерь мощности и напряжения в кабельных линиях. Потеря напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{РАБ} \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos(\varphi) + x_{уд} \cdot \sin(\varphi))}{U_{НОМ}} \cdot 100\% \quad (8.32)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{РАБ} \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos(\varphi) + x_{уд} \cdot \sin(\varphi)) \quad (8.33)$$

где l - длина кабельной линии, м; $r_{уд}$, $x_{уд}$ - удельное активное и реактивное сопротивление кабеля, Ом/м [30,таблица 2.53.с.139] и [30,таблица 2.52.с.138]; $U_{НОМ}$ - номинальное напряжение сети, В; $I_{РАБ}$ - максимальный рабочий ток электроприемника, А.

Потери активной и реактивной мощности:

$$\Delta P = 3 \cdot I_{РАБ}^2 \cdot r_{уд} \cdot l \quad (8.34)$$

$$\Delta Q = 3 \cdot I_{РАБ}^2 \cdot x_{уд} \cdot l \quad (8.35)$$

Результаты расчётов потерь в кабельных линиях представлены в п.8.9

8.6 Анализ качества напряжения цеховой сети и расчет отклонения напряжения для характерных режимов силовых электроприемников (самого мощного и самого удаленного)

Качество напряжения зависит от потерь напряжения в отдельных элементах питающей сети. Отклонения напряжения согласно ПУЭ не должны выходить за пределы:

1. (-2,5 - +5)% $U_{НОМ}$ – для освещения;
2. (-5 - +10)% $U_{НОМ}$ – на зажимах двигателей;
3. (-5 - +5)% $U_{НОМ}$ – на зажимах остальных приёмников.

Отклонения напряжения определяются на каждом участке электрической сети по формуле:

$$V = \left[\frac{(U_{HH} - \Delta U_{участка})}{U_{ном}} \right] \cdot 100\% \quad (8.36)$$

Отклонения напряжения будем рассчитывать в максимальном, минимальном и послеаварийном режимах, для самого мощного и самого удалённого потребителя от шин КТП.

$$\text{Максимальный: } U = U_{ном} \cdot 1,05 = 10,5 \text{ кВ}$$

$$\text{Минимальный: } U = U_{ном} \cdot 1,00 = 10,0 \text{ кВ}$$

$$\text{Послеаварийный: } U = U_{ном} \cdot 1,10 = 11,0 \text{ кВ}$$

Анализ качества напряжения проведём для мощного ЭП №22 и самого удаленного ЭП №17. Рассмотрим все три режима и построим эпюры напряжения для всех режимов.

Расчёт для самого мощного электроприёмника Максимальный режим

Определяем потери в питающей кабельной линии длиной 250 метров:

$$\Delta U_{КЛ} = \sqrt{3} \cdot I_{КЛ} \cdot l \cdot (r_{y\delta} \cdot \cos \varphi + x_{y\delta} \cdot \sin \varphi) \quad (8.37)$$

$$\Delta U_{КЛ} = \sqrt{3} \cdot 42,4 \cdot 0,3 \cdot (1,24 \cdot 0,79 + 0,099 \cdot 0,61) = 19,1 \text{ В}$$

$$U_1 = U_{III} - \Delta U_{КЛ01} = 10500 - 19,1 = 10480,9 \text{ В}$$

$$V_2 = \frac{U_1 - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{10480,9 - 10000}{10000} \cdot 100\% = 4,8\%$$

Определяем потери в трансформаторе:

$$\Delta U_T = \alpha \cdot \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi); \quad (8.38)$$

где $\beta = S / S_{ном}$ - коэффициент загрузки трансформаторов;

U_a и U_p - активная и реактивная составляющие напряжения к.з. – $U_k, \%$;

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{10 \cdot S_{ном}}; \quad (8.39)$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} \quad (8.40)$$

$$U_a = \frac{12200}{10 \cdot 630} = 1,2;$$

$$U_p = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,37;$$

$$\Delta U_T = \frac{693}{1000} (1,2 \cdot 0,79 + 5,37 \cdot 0,61) = 2,9\%;$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{mp} = 10480,9 - 290 = 10190,9B$$

$$V_3 = \frac{U_2 - U_{н.о.м.}}{U_{н.о.м.}} \cdot 100\% = \frac{10190,9 - 10000}{10000} \cdot 100\% = 1,9\%.$$

Приведём напряжение U_2 к стороне 0,4 кВ:

$$U_2 = U_2 - K_{mp} = 10190,9 \cdot \frac{0,38}{10} = 387,3B$$

Падение напряжения в КЛ до ПР-3:

$$\Delta U_{КЛ} = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot (r \cdot \cos(\varphi) + x \cdot \sin(\varphi)) = \sqrt{3} \cdot 135,25 \cdot 0,0555 \cdot (0,443 \cdot 0,59 + 0,0612 \cdot 0,81) = 4,04B$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{КЛ} = 387,3 - 4,04 = 383,2B$$

$$V_4 = \frac{U_3 - U_{н.о.м.}}{U_{н.о.м.}} \cdot 100\% = \frac{383,2 - 380}{380} \cdot 100\% = 0,8\%.$$

Падение напряжения в КЛ до ЭП №22:

$$\Delta U_{КЛ} = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot (r \cdot \cos(\varphi) + x \cdot \sin(\varphi)) = \sqrt{3} \cdot 45,58 \cdot 0,0044 \cdot (1,94 \cdot 0,6 + 0,0675 \cdot 0,8) = 0,42B$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{КЛ} = 383,2 - 0,42 = 382,8B$$

$$V_5 = \frac{U_4 - U_{н.о.м.}}{U_{н.о.м.}} \cdot 100\% = \frac{382,8 - 380}{380} \cdot 100\% = 0,7\%.$$

Таблица 8.24 -Исходные данные

$P_{кз}, \text{кВт}$	12,20	$U_a, \%$	1,20
$U_k, \%$	5,5	$U_p, \%$	5,40
$S_{расч}, \text{кВт}$	693,00	β	0,693
$S_{ном}, \text{кВт}$	1000,00	$\Delta U, \%$	2,90

Таблица 8.25 - Значения потерь напряжения

L	I	r	x	$\cos(\varphi)$	$\sin(\varphi)$	U	ΔU	ΔV	V
Источник питания:						6300	0	0,00%	5,0%
0,25	42,4	1,24	0,099	0,79	0,61	6300	19,10	0,19%	4,8%
Потери в трансформаторе						6280,9	290	2,90%	1,9%
Приведём напряжение U_2 к стороне 0,4 кВ						6190,9			
						387,3			
0,0555	135,25	0,443	0,0612	0,59	0,81	387,3	4,04	1,06%	0,8%
0,0044	45,58	1,94	0,0675	0,6	0,80	383,2	0,42	0,11%	0,7%

Расчёт остальных режимов сведём в таблицы.

Минимальный режим

При минимальном режиме соотношение между минимальной и максимальной нагрузкой $\frac{P_{\min}}{P_{\max}} = 0.6$. Таким образом, получаем:

Таблица 8.26-Исходные данные

$P_{кз}, \text{кВт}$	12,20	$U_a, \%$	1,20
$U_k, \%$	5,5	$U_p, \%$	5,40
$S_{расч}, \text{кВт}$	416,0	β	0,416
$S_{ном}, \text{кВт}$	1000,00	$\Delta U, \%$	1,76

Таблица 8.27-Значения потерь напряжения

L	I	r	x	$\cos(\varphi)$	$\sin(\varphi)$	U	ΔU	ΔV	V
Источник питания:						6000	0	0,00%	0,0%
0,25	25,44	1,24	0,099	0,79	0,61	6000	11,46	0,11%	-0,1%
Потери в трансформаторе						5988,5	176	1,76%	-1,9%
Приведём напряжение U_2 к стороне 0,4 кВ						5812,5			
						372,9			
0,0555	81,15	0,443	0,0612	0,59	0,81	372,9	2,42	0,65%	-2,5%
0,0044	27,348	1,94	0,0675	0,6	0,80	370,5	0,25	0,07%	-2,6%

Послеаварийный режим

Рассмотрим послеаварийный режим, когда один из трансформаторов выводится из работы, и вся нагрузка предаётся через другой трансформатор.

Таблица 8.28 - Исходные данные

$P_{кз}, \text{кВт}$	12,20	$U_{а*}, \%$	1,20
$U_{к}, \%$	5,5	$U_{р}, \%$	5,40
$S_{расч}, \text{кВт}$	1386,0	β	1,39
$S_{ном}, \text{кВт}$	1000,00	$\Delta U, \%$	5,85

Таблица 8.29- Значения потерь напряжения

L	I	r	x	$\cos(\varphi)$	$\sin(\varphi)$	U	ΔU	ΔV	V
Источник питания:						6600	0	0,00%	10,0%
0,3	42,4	1,24	0,099	0,79	0,61	6600	22,92	0,23%	9,8%
Потери в трансформаторе						5977,1	585	5,85%	3,9%
Приведём напряжение U_2 к стороне 0,4 кВ						5392,1			
						394,9			
0,0555	135,25	0,443	0,0612	0,59	0,81	394,9	4,04	1,02%	2,9%
0,0044	45,58	1,94	0,0675	0,6	0,8	390,9	0,42	0,11%	2,7%

Расчёт для самого удалённого электроприёмника Максимальный режим

Таблица 8.30 - Исходные данные

$P_{кз}, \text{кВт}$	12,20	$U_{а*}, \%$	1,20
$U_{к}, \%$	5,5	$U_{р}, \%$	5,40
$S_{расч}, \text{кВт}$	693,00	β	0,693
$S_{ном}, \text{кВт}$	630	$\Delta U, \%$	2,90

Таблица 8.31- Значения потерь напряжения

L	I	r	x	$\cos(\varphi)$	$\sin(\varphi)$	U	ΔU	ΔV	V
Источник питания:						6300	0	0,00%	5,0%
0,25	42,4	1,24	0,099	0,79	0,61	6300	19,10	0,19%	4,8%
Потери в трансформаторе						6280,9	290	2,90%	1,9%
Приведём напряжение U_2 к стороне 0,4 кВ						6190,9			
						387,3			
0,0864	59,88	1,94	0,0675	0,66	0,75	387,3	11,93	3,14%	-1,2%
0,0215	20,51	3,1	0,073	0,6	0,8	375,3	1,47	0,39%	-1,6%
0,0066	11,96	7,74	0,095	0,6	0,8	373,9	0,65	0,17%	-1,8%
0,0138	3,42	7,74	0,095	0,6	0,8	373,2	0,39	0,10%	-1,9%

Минимальный режим

Таблица 8.32- Исходные данные

$P_{кз}$, кВт	12,20	$U_{а}$, %	1,20
$U_{к}$, %	5,5	$U_{р}$, %	5,40
$S_{расч}$, кВт	416,0	β	0,416
$S_{ном}$, кВт	630	ΔU , %	1,76

Таблица 8.33- Значения потерь напряжения

L	I	r	x	$\cos(\varphi)$	$\sin(\varphi)$	U	ΔU	Δv	V
Источник питания:						6000	0	0,00%	0,0%
0,25	25,44	1,24	0,099	0,79	0,61	6000	11,46	0,11%	-0,1%
Потери в трансформаторе						5988,5	176	1,76%	-1,9%
Приведём напряжение U_2 к стороне 0,4 кВ						5812,5			
						372,9			
0,0864	35,928	1,94	0,0675	0,66	0,75	372,9	7,16	1,88	-3,8%
0,0215	12,306	3,1	0,073	0,6	0,8	365,7	0,88	0,23%	-4,0%
0,0066	7,176	7,74	0,095	0,6	0,8	364,8	0,39	0,10%	-4,1%
0,0138	2,052	7,74	0,095	0,6	0,8	364,5	0,23	0,06%	-4,2%

Послеаварийный режим

Рассмотрим послеаварийный режим, когда один из трансформаторов выводится из работы, и вся нагрузка передаётся через другой трансформатор.

Таблица 8.34-Исходные данные

$P_{кз}$, кВт	12,20	$U_{а}$, %	1,20
$U_{к}$, %	5,5	$U_{р}$, %	5,40
$S_{расч}$, кВт	1386,00	β	1,39
$S_{ном}$, кВт	630	ΔU , %	5,85

Таблица 8.35- Значения потерь напряжения

L	I	r	x	$\cos(\varphi)$	$\sin(\varphi)$	U	ΔU	Δv	V
Источник питания:						6600	0	0,00%	10,0%
0,25	42,4	1,24	0,099	0,79	0,61	6600	19,10	0,19%	9,8%
Потери в трансформаторе						5980,9	585	5,85%	4,0%
Приведём напряжение U_2 к стороне 0,4 кВ						5395,9			
						395,0			
0,0864	59,88	1,94	0,0675	0,66	0,75	395,0	11,93	3,14%	0,8%
0,0215	20,51	3,1	0,073	0,6	0,8	383,1	1,47	0,39%	0,4%
0,0066	11,96	7,74	0,095	0,6	0,8	381,7	0,65	0,17%	0,3%
0,0138	3,42	7,74	0,095	0,6	0,8	381,0	0,39	0,10%	0,2%

Эпюры отклонения напряжения представлены на листе № 3 графической части работы.

8.7 Конструктивное исполнение цеховой сети

На низком напряжении 0,4 кВ используем схему с одной секционированной системой шин. В нормальном режиме секционный выключатель отключен.

Внутрицеховое электроснабжение камнеобрабатывающего завода выполнено по радиальной схеме: электроприёмники получают питание от силовых пунктов серии ПР11, ПР8500 и ПР8804. во всех случаях применяется кабель марки АВВГ.

Рабочее освещение выполнено лампами СЛ 250 в светильниках типа РСП05, которые получают питание от осветительных щитков типа ОЩВ-6, которые запитаны от ГЩО (ПР8501 048 21У3). ГЩО получает питание непосредственно от шины 0,4 кВ трансформаторной подстанции КТП по кабельной линии, в качестве которой используется четырёхжильный кабель марки АВВГ.

Аварийное освещение выполнено энергосберегающими лампами типа глоб GL95 25Вт в светильниках ЭСАО – 3, получающими питание от осветительного щитка типа ОЩВ-6. щиток освещения получает питание от независимого источника питания по кабельной линии, в качестве которой используется четырёхжильный кабель марки АВВГ.

Защита отдельных электроприёмников и силовых пунктов от токов КЗ осуществляется автоматическими выключателями серии ВА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной выпускной квалификационной работы была спроектирована экономически эффективная и целесообразная схема электроснабжения цеха №3, №4 камнеобрабатывающего завода ООО «ПК «Саянмрамор». Данная схема отвечает требованиям надёжности и обеспечивает качество напряжения установленного ГОСТом Р 32144-2013. Выбранная схема характеризуется меньшими потерями мощности и напряжения в сравнении с отклоненным вариантом. Поэтому она является более оптимальной по всем параметрам.

При проектировании был обоснован выбор напряжения цеховой сети, произведён светотехнический и электротехнический расчёт осветительной сети, были выбраны схемы КТП, тип, число и мощность трансформаторов, сечение питающих кабельных линий. Также было произведено технико-экономическое сравнение вариантов внутрицехового, расчёт потерь мощности и напряжения, расчёт токов короткого замыкания, анализ качества напряжения цеховой сети и расчёт отклонения напряжения для максимального, минимального и послеаварийных режимов.

При выполнении выпускной квалификационной работы были закреплены навыки проектирования и принятия конструктивных решений, необходимые в будущей профессиональной деятельности. Оценены объемы и последовательность проектируемых работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акимова, Т. А. Экология: учебник для вузов / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин. – М.: ЮНИТИ, 2014. – 455 с.
2. Андрусович, Б.Е. Анализ хозяйственной деятельности в промышленности: учебник. Г.Г. Виногород, О.Ф. Мигун и др.; Под общ. ред. В.И. Стражева. - 2-е изд., стереотип. – Мн.: Выш.шк., 2013. – 363с.
3. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. – 4-е издание, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2011. – 639 с.
4. Андреев, В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2012. – 252 с.
5. Барыбин, Ю. Г. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 576 с.
6. Веников, В.А. Расчёт токов короткого замыкания в сети внешнего и внутреннего электроснабжения промышленных предприятий: Москва. - Энергоатомиздат, 2015.- 434 с.
7. Горелов, А. А. Экология: учеб. пособие для вузов / А. А. Горелов. — М.: Юрайт-М, 2012. — 312 с.
8. Дипломное проектирование по специальности 140211.65 «Электроснабжение»: учеб. пособие/ Л.Л.Латушкина, А.Д. Макаревич, А.С. Торопов, А.Н. Туликов. – Абакан: Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. Ред. – изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, 2012. – 232с.
9. Зайцев, Н.Л. Экономика промышленного предприятия: учебник. Н.Л.Зайцев. изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 336с.
10. Иванов, В.С. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В.С. Иванов, В.И. Соколов. – Москва: Энергоатомиздат, 2015. – 287с.
11. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения; Г.М. Кнорринга. - С.Пб: Энергия, 2012. – 348с.
12. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: Справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск.: Техноперспектива, 2007. – 253 с.
13. Коробкин, В. И. Экология: учебник для студентов высших учебных заведений / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. — Изд. 14-е, доп. и перераб. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2014. — 602 с.
14. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий Учебник для студентов высших учебных заведений / – Б.И.Кудрин. 2-е изд. – М.: Интермет Инжиниринг, 2014. – 672 с.
15. Липкин, Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок : учебник для учащихся электротехн. специальностей средних спец. учебн. заведений / Б. Ю. Липкин. 4-е. изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2014. – 366 с.

16. Любушин, Н.П. Анализ финансово - экономической деятельности предприятия: Учеб. пособие для вузов / В.Б. Лещева, В.Г. Дьякова под ред. проф. Н.П. Любушина. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2013. - 471с.
17. Методика учёта и анализа себестоимости продукции / А.Ф. Аксененко, В.В. Новиков, В.И. Сидоров и др.; Под ред. А.Д. Шеремета. – М.: Финансы и статистика, 2014. – 208с.
18. Пособие к СНиП 11-01-95 по разработке раздела проектной документации "Охрана окружающей среды". – Москва, 2000г. – режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/3109389/>
19. Потёмкина, В.М. Финансы предприятий: учебное пособие. – Донецк: КИТИС, 2013. – 276с.
20. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) 7-ое издание. Главы 1.1-1.2, 1.7-1.9, 2.4-2.5, 4.1-4.2, 7.1-7.2, 7.5-7.6, 7.10, раздел 6. – М.: Ростехнадзор, 2014. – 411 с.
21. Прайс лист светотехнического оборудования <http://www.splyse.ru/price/equipment/electric/lighting/incandescent/>.
22. Приказ ФСТ России от 10.10.2015 N 225-э/1 "О предельных уровнях тарифов на электрическую энергию (мощность) на 2015 год" (Зарегистрировано в Минюсте России 28.10.2014 N 34488) [Электронный ресурс]. Приложение N 4 к приказу Федеральной службы по тарифам от 10 октября 2014 г. N 225-э/1// Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
23. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; дата введ. 23.03.1998. – М.: Издательство МЭИ, 2013. – 131 с.
24. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2014. – 27 с.
25. Руководящий технический материал. Проектирование электроустановок. О расчете электрических нагрузок. Указания по расчету электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92 - Москва 1992 – Режим доступа : <http://tehnorma.ru/normativbase/9/9624/index.htm>.
26. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий; дата введ. 01.01.2004. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2014. – 65 с.
27. Сербиновский, Г.В. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Электрооборудование и автоматизация. 2-е изд. перераб. и доп./ под общ. ред. А. А. Федорова и Г. В. Сербиновского. – М.: Энергия, 2012. – 624 с.
28. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / под редакцией Д.Л. Файбисовича. – Москва: Изд-во НЦЭНАС, 2014.-320с.