

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

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

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.С. Торопов

подпись

инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Реконструкция схемы электроснабжения основного производства  
обогащательной фабрики ООО «Сорский ферромолибденовый завод»

тема

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

доцент, к.э.н

\_\_\_\_\_

должность, ученая степень

Н.В. Дулесова

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.Н. Осипов

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_

подпись, дата

И.А. Кычакова

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Абакан 2023

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

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

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ А.С. Торопов \_\_\_\_\_

подпись

инициалы, фамилия

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

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

Студенту Осипову Антону Николаевичу

(фамилия, имя, отчество)

Группа з-18 (ЗХЭн 18-01) Направление 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

(код)

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Реконструкция схемы электроснабжения основного производства обогатительной фабрики ООО «Сорский ферромолибденовый завод»

Утверждена приказом по институту № 287 от 17.09.2023 г.

Руководитель ВКР Н.В. Дулесова, доцент кафедры «ЭМиАТ», канд.экон.наук

(инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы)

Перечень разделов выпускной квалификационной работы: Введение

1 Общие сведения об объекте реконструкции

1.1 Структура ООО «СФМЗ»

1.2 Состав и характеристика потребителей

1.3 Обоснование реконструкции системы электроснабжения

2 Проектирование электроснабжения цеха ДО-1 с учетом реконструкции

2.1 Характеристика цеха и технические показатели электроприемников

2.2 Светотехнический и электротехнический расчет осветительной сети

3 Реконструкция схемы электроснабжения цеха ДО-1

4 Определение расчётных электрических нагрузок и токов для выбора параметров защитных аппаратов и токоведущих элементов цеховой сети

4.1 Расчёт первого уровня электроснабжения

4.2 Расчёт второго уровня электроснабжения

4.3 Расчет параметров элементов электроснабжения в сети

4.4 Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения в цеховой распределительной сети

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

5.1 Расчет токов трехфазного короткого замыкания в сети напряжением до 1000 В

5.2 Проверка защитных аппаратов на отключающую способность

5.3 Расчет токов однофазного к.з. в сети напряжением до 1000 В

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

6 Анализ качества напряжения цеховой сети Заключение

Список использованных источников

Перечень обязательных листов графической части:

1. План ДО-1 с силовыми сетями после реконструкции

2. Однолинейная схема электроснабжения

3. Расчет токов трехфазного к.з. в сети напряжением до 100В

Руководитель ВКР

(подпись, инициалы и фамилия)

\_\_\_\_\_ / Н.В. Дулесова

Задание принял к исполнению

(подпись, инициалы и фамилия студента)

\_\_\_\_\_ / А.Н. Осипов

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Реконструкция схемы электроснабжения основного производства обогатительной фабрики ООО «Сорский ферромолибденовый завод» содержит 66 страниц текстового документа, 30 использованных источников, 3 листа графического материала, приложений нет.

РЕКОНСТРУКЦИЯ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ, ОСВЕЩЕНИЕ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ.

Объект реконструкции – схема электроснабжения основного производства обогатительной фабрики.

Предмет реконструкции – система внешнего электроснабжения основного производства обогатительной фабрики ООО «Сорский ферромолибденовый завод».

Целью бакалаврской работы является реконструкция системы электроснабжения основного производства обогатительной фабрики в связи с увеличением производственных мощностей дробильного отделения № 1.

В ходе выполнения работы была дана характеристика объекта проектирования, состава и технических характеристик электроприемников. Дано обоснование реконструкции электроснабжения и обзор методов расчета электрических нагрузок.

Рассчитаны электрические нагрузки для силовых электроприемников, а также количество и мощность светильников, рассчитана нагрузка на втором уровне электроснабжения для узлов питания. Для выбора кабелей и защитной аппаратуры произведены электротехнические расчеты рабочего и аварийного освещения.

Для защиты узлов второго уровня и индивидуальных электроприемников выбраны защитные аппараты (автоматические выключатели), и далее, с ними согласованы сечения проводников (кабельные линии различного сечения), которые выбирались согласно условиям их прокладки.

Практическая значимость исследований обусловлена тем, что предложенные виды электрооборудования и технические решения, касающиеся системы электроснабжения, могут быть использованы для реконструкции и проектирования различных промышленных объектов.

## **THE ABSTRACT**

The final qualifying work on the topic "Reconstruction of the power supply scheme of the main production of the Sorsky ferromolybdenum Plant processing Plant LLC" contains 68 pages of a text document, 30 sources used, 3 sheets of graphic material, no appendices.

**RECONSTRUCTION, POWER SUPPLY, ELECTRICAL LOADS, LIGHTING, EQUIPMENT SELECTION, EQUIPMENT INSPECTION.**

The object of reconstruction is the power supply scheme of the main production of the concentrating plant.

The subject of reconstruction is the external power supply system of the main production of the processing plant of Sorsky Ferromolybdenum Plant LLC.

The purpose of the bachelor's work is the reconstruction of the power supply system of the main production of the concentrating plant in connection with the increase in the production capacity of the crushing department No. 1.

In the course of the work, the characteristics of the design object, the composition and technical characteristics of electric receivers were given. The substantiation of the reconstruction of power supply and an overview of methods for calculating electrical loads are given.

The electric loads for power electric receivers, as well as the number and power of lamps are calculated, the load at the second level of power supply for power supply units is calculated. For the selection of cables and protective equipment, electrical calculations of working and emergency lighting were made.

To protect the second-level nodes and individual electrical receivers, protective devices (circuit breakers) were selected, and further, the sections of conductors (cable lines of various cross-sections) were coordinated with them, which were selected according to the conditions of their laying.

The practical significance of the research is due to the fact that the proposed types of electrical equipment and technical solutions related to the power supply system can be used for the reconstruction and design of various industrial facilities.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Общие сведения об объекте реконструкции.....	6
1.1 Структура ООО «СФМЗ».....	6
1.2 Состав и характеристика потребителей.....	8
1.3 Обоснование реконструкции системы электроснабжения.....	12
2 Проектирование электроснабжения цеха ДО-1 с учетом реконструкции.....	13
2.1 Характеристика цеха и технические показатели электроприемников.....	13
2.2 Светотехнический и электротехнический расчет осветительной сети.....	16
3 Реконструкция схемы электроснабжения цеха ДО–1.....	26
4 Определение расчётных электрических нагрузок и токов для выбора параметров защитных аппаратов и токоведущих элементов цеховой сети ...	27
4.1 Расчёт первого уровня электроснабжения.....	27
4.2 Расчет второго уровня электроснабжения.....	29
4.3 Расчет параметров элементов электроснабжения в сети.....	34
4.4 Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения в цеховой распределительной сети.....	37
5 Проверка оборудования в сети напряжением ниже 1000 В на отключающую способность и чувствительность к токам КЗ.....	40
5.1 Расчет токов трехфазного короткого замыкания в сети напряжением до 1000 В.....	40
5.2 Проверка защитных аппаратов на отключающую способность.....	46
5.3 Расчет токов однофазного к.з. в сети напряжением до 1000 В.....	46
5.4 Проверка защитных аппаратов сети напряжением ниже 1000 В на чувствительность к токам КЗ.....	49
6 Анализ качества напряжения цеховой сети.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	63

## ВВЕДЕНИЕ

Эффективность и надежность функционирования электротехнического оборудования электрических подстанций зависит от его технического состояния. Современное электротехническое оборудование имеет достаточно высокие расчетные показатели надежности. Однако в процессе эксплуатации под воздействием различных факторов, условий и режимов работы исходное состояние оборудования непрерывно ухудшается, снижается эксплуатационная надежность и увеличивается опасность возникновения отказов. В связи с этим остро стоит вопрос правильной эксплуатации и своевременной реконструкции оборудования подстанций.

При реконструкции необходимо учитывать все современные требования к системам электроснабжения и показатели качества электрической энергии. Очень важно выбрать наиболее целесообразные схемы электроснабжения. И в том, и в другом случае должны быть учтены экономические критерии и обеспечена надежность систем электроснабжения.

Объект реконструкции – схема электроснабжения основного производства обогатительной фабрики.

Предмет реконструкции – система внешнего электроснабжения основного производства обогатительной фабрики ООО «Сорский ферромолибденовый завод».

Целью бакалаврской работы является реконструкция действующей системы электроснабжения основного производства ферромолибденового комбината в связи с установкой дополнительного оборудования в дробильном отделении №1

Задачами данной ВКР являются:

- произвести расчет электрических нагрузок первичных групп электроприемников основного производства ООО «Сорский ферромолибденовый завод» и разработать новую схему электроснабжения;

- сделать расчет освещения основного производства ООО «Сорский ферромолибденовый завод» и рассчитать мощность осветительной нагрузки с учетом применения свето- диодных светильников;

- произвести расчет электрических нагрузок узлов электрической сети в

соответствии с актуальной методикой расчета;

– выбрать воздушные автоматические выключатели и сечения питающих кабелей, конструктивное исполнение сети;

– произвести расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания и проверить коммутационно-защитные аппараты по условиям устойчивости и чувствительности к токам к.з.

## **1 Общие сведения об объекте реконструкции**

### **1.1 Структура ООО «Сорский ферромолибденовый завод»**

ООО «Сорский ферромолибденовый завод» является крупнейшим горно-обогатительным комбинатом в России.

Данное месторождение находится на территории Усть-Абаканского района Республики Хакасия в Западной Сибири в 105 км к северо-западу от г. Абакана.

Ферромолибденовый завод занимается производством и дальнейшей реализацией медного и молибденового концентрата. Металл из молибдена является важнейшим структурным элементом при производстве электровакуумных приборов и электроосветительных ламп. За счёт высокой жароустойчивости своё применение молибден и его сплавы получили даже в строительстве ракетной и авиационной технике, атомной промышленности.

В прямой пропорциональности при возрастании объёмов выпуска продукции, возрастает и количество потребляемой электроэнергии, и объёмы потребления энергоресурсов в целом, за счёт чего стоимость также увеличивается. Несмотря на это, удельное потребление электроэнергии уменьшилось на один рубль изготавливаемой продукции.

На рассматриваемом объекте постоянно увеличивается качество и технология буровзрывных работ. Благодаря роботизированию изготовления взрывчатых веществ, более 80% выполняемого ранее ручного труда теперь производится на месте применения по весьма простой технологии.

Организационно-правовая форма предприятия – общество с ограниченной



ответственностью. И представляется коммерческой организацией, где основной целью проводимой деятельности является получение прибыли.

Для эффективности работы электроэнергетического предприятия необходимо учитывать и вопрос управления персоналом. Для этого на Сорском ГОКе существует чёткое разделение работников завода.

Обогатительная фабрика представляется одним из основных цехов предприятия. После добычи и транспортировки руды, именно здесь происходит изготовление медного и молибденового концентратов. Основные технологические процессы здесь автоматизированы. Дробильное, химическое и исследовательское отделения тесно взаимодействуют с фабрикой.

Также следует отметить высокую социальную мобильность предприятия: Сорский горно-обогатительный комбинат не только обеспечивает льготами своих сотрудников (предусмотренные в коллективном договоре), но и помогает жителям города в целом, оказывая материальную поддержку в различных сферах, являясь градообразующим предприятием.

Основная продукция ООО «СФМЗ»:

- концентрат молибденовый;
- концентрат медный;
- ферромолибден;
- нерудные строительные материалы и др.

Вид лицензируемой деятельности – разведка и добыча полезных ископаемых, включая использование отходов горнодобывающего и связанных с ним перерабатывающих производств.

Стратегия производства ООО «СФМЗ»:

- 1) Повышение количества выпускаемого молибдена.
- 2) Увеличение эффективности производства.
- 3) Увеличение запасов путем геологоразведки и развития системы знаний в сфере развития горных работ.
- 4) Изучение перспективных проектов, направленных на модернизацию производства молибдена и диверсификацию продукции на основе других металлов.
- 5) Непрерывное улучшение результатов в сфере обеспечения безопасности

на производстве и экологической системы.

## **1.2 Состав и характеристика потребителей до реконструкции**

Наибольшее количество электроэнергии (91-96%) расходуется на предприятии на основное производство.

До реконструкции электропотребление сохраняет многолетнюю стабильность. Фактором, влияющим на рост оплаты электроэнергии, является только применяемый к ней тариф.

Трёхсменный режим работы позволяет предприятию работать безостановочно. На предприятии установлена система общего и комбинированного освещения. При такой установке общего освещения все, находящиеся на предприятии поверхности оснащены световыми лучами в равной степени, что создает одинаковые световые условия для труда на каждом участке пространства, требующего освещения.

Общая конструкция освещения используется в помещениях с достаточно тесным расположением оборудования, при выполнении на всей площади однотипных работ при отсутствии длительного напряжения прения. В качестве резервных источников питания для пожарной насосной станции и модульной котельной ОФ эксплуатируются дизельные электростанции (ДЭС).

По надежности электроснабжения различные потребители предприятия относятся к II и III категории.

При помощи флотационного обогащения на обогатительной фабрике перерабатываются молибденово-медные руды, включая изготовление молибденовых и медных концентратов.

Обобщая, в состав фабрики входят участки:

1. Дробильные отделения (ДО).
2. Измельчительно - флотационное отделение (ИФО).
3. Фильтровально-сушильное отделение (ФСО).
4. Участок складирования хвостов и обратного водоснабжения.

Основные технологические участки:

- дробильные отделения. Руда в отделениях дробления проходит по

трёхступенчатой системе: первая ступень проводится на дробилке ККД- 1200; вторая – в дробилках КСД-2200Б; третья – в дробилках КМДТ-2200, работающих в замкнутом цикле с грохотами; грохочение происходит на грохотах ГИТ-42Н и ГИТ-71М с направлением дроблёного материала ленточными конвейерами в бункер дробильной руды;

- измельчительно-флотационное отделение. Дроблёная руда подвергается измельчению в шаровых мельницах: МШР 3,2 х 3,1м выполняющих работу в замкнутом цикле с классификаторами 1КСН-24 и мельницах МШЦ 4,5 х 6,0, работающих в замкнутом цикле с классификаторами 1КСН-30.

Переработка сырья происходит по нескольким технологическим операциям:

1. Дробление: крупное дробление, мелкое и среднее дробление. Участок грохочения руды (руда, раздробленная до нужного размера)

2. Измельчение. Дробленая руда измельчается при помощи шаровых мельниц с центральной разгрузкой и разгрузкой через решетку. Классификаторы распределяют измельченную руду на классы, исходя из её размеров. Слив классификатора представляется готовым материалом для дальнейшей переработки (флотации), а крупный материал (пески) снова проходит операцию доизмельчения.

3. Флотация. Молибден флотируется в пенный продукт и проходит этап концентрирования, а медь (халькоперит) (сопутствующий продукт технологического процесса производства молибдена) тонет и превращается в камерный продукт. Пенный продукт, в состав которого входит молибден, неоднократно проходит очищение во флотомашинах. По такой технологии происходит изготовление молибденового концентрата, соответствующий нормам качества.

4. Флотационная схема представляет из себя коллективный цикл, состоящий из основной, двух контрольных коллективных флотаций, двух перечисток коллективного концентрата, доизмельчение коллективного концентрата, цикл селекции, молибденовую доводку с доизмельчением молибденового концентрата после 1, 4 перечисток, медный цикл, включающий основную, две контрольные и две перечистные флотации.

Перечистка коллективного концентрата происходит в двух секциях флот

машин. Селективная флотация происходит в механической флотмашине.

Камерный продукт селекции поступает в цикл медной доводки, в состав которого входит: сгуститель, чаны аэрации, агитации и флот машины.

Продукт, прошедший этап вспенивания селективной флотации поступает на молибденовую доводку. После шести перечисток во флотомашине доводки получен концентрат отвечающий требованиям ГОСТа к молибденовому концентрату. Изготовленные флотационные концентраты передаются в фильтровально - сушильное отделение (ФСО).

#### 5. Фильтрация и сушка (ФСО)

Вода уменьшается до 11-13% общей составляющей воды в кеке. Медный концентрат переходит в сгуститель, после чего сгущенный продукт проходит фильтрацию в дисковых вакуум-фильтрах и с влажностью около 13% конвейером отправляется в бункер готовых изделий. Производя рассыпку по вагонам, происходит отгрузка концентрата меди. Молибденовый концентрат фильтруется в барабанных фильтрах. Кек фильтров с влажностью примерно 11% подаётся на сушку в электрические барабанные печи. Кек сушится в электрической печи при температуре 260°C. Так получается конечный продукт концентрата молибдена.

Молибденовый концентрат упаковывается в мягкие контейнеры и переходит в цех производства ферромолибдена. Медный концентрат проходит операцию по такой же технологии (для упаковки используются контейнеры BIG-BAG Евростандарта).

6. Участок складирования хвостов обогащения и оборотного водоснабжения. Отходы обогащения складываются на хранение в двух хвостохранилищах: старом и новом. В старом хвостохранилище проходит производство сосредоточенного складирования хвостов в период с ноября по март.

Вода, прошедшая этап осветления через водосбросной коллектор и канал из старого хвостохранилища, переходит в прудок нового хвостохранилища, где располагаются две плавучие насосные станции оборотного водоснабжения. Такая вода применяется в технологическом процессе обогащения.

Дробильный и обогатительный комплекс ООО «СФМЗ» функционирует непрерывно. Он питает электроснабжение от собственных цеховых

трансформаторных подстанций. Категория надежности – II.

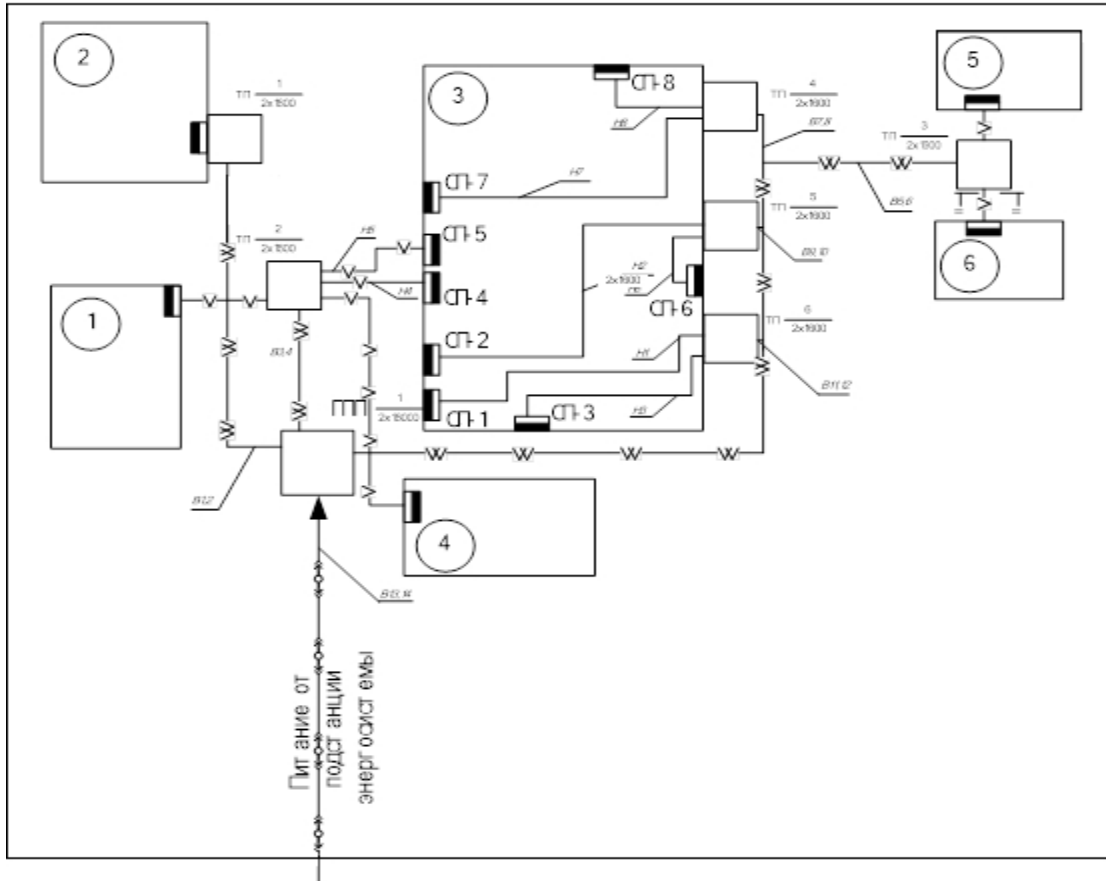


Рисунок 1.2 – Схема генерального плана предприятия

На схеме действующего генерального плана предприятия на рисунке 1.1 мы наблюдаем, что ГПП, где установлены два трансформатора типа ТДНС-16000/35 У1 по 16000 кВА, питает шесть трансформаторных подстанций с трансформаторами типа ТМЗ-1600/6/0,4, мощностью по  $2 \times 1600$ кВА каждая.

Далее рассмотрим таблицу 1.1 мощностей каждого цеха предприятия и проведём сравнение полученных изменений после проведенной реконструкции.

Таблица 1.1 – Разница мощностей до и после реконструкции по цехам

№	Наименование цеха	Категория надежности	Площадь цеха, м <sup>2</sup>	Номинальная мощность оборудования до реконструкции, кВт	Номинальная мощность оборудования после реконструкции, кВт
1	ДО-1	II, III	9800	3480	5204
2	ДО-2	II, III	6600	2570	2585
3	ИФО	II	24700	7320	7314
4	ФСО	II	6725	2340	2327
5	Пульпанасосная станция	II	4030	1490	1510
6	Станция обратного водоснабжения	II	3210	1270	1265

Из данных таблицы 1.1 видно, что мощности цехов остались практически неизменными, не включая дробильное отделение-1.

### 1.3 Обоснование реконструкции системы электроснабжения

В 2020 году на территории ООО «СФМЗ» были обнаружены большие залежи меди, а также молибдена. После чего потребовалось расширение производства выпускаемых концентратов. Для чего нужно было увеличить производственные мощности дробильного цеха № 1.

Поставив эту задачу, была добавлена еще одна линия дробления руды, состоящая из трех дробилок ККД-1200, КСД-2200Б, КМДТ-2200, грохоты ГИТ-42Н и двух ГИТ-71М, двух питателей типа ПД 1-18-90 и трёх ленточных конвейеров

Также, требуется замена трансформаторов с наибольшей мощностью и с пониженным риском утрат холостого хода и короткого замыкания на территории трансформаторной подстанции номер один, благодаря увеличению электрических нагрузок и расширению мощностей предприятия.

Таких номинальных мощностей трансформаторов, питающих подстанций предприятия в системе его внутреннего электроснабжения, в данный момент не хватает, так как возросли объёмы производства

## 2 Проектирование электроснабжения цеха ДО - 1 с учетом реконструкции

### 2.1 Характеристика цеха и технические показатели электроприемников

Здание ДО-1 имеет размеры 100×92 м общей площадью 9200 м<sup>2</sup>.

Перечень оборудования цеха дан в таблице 2.1.

Технологическое оборудование, потребляющее электроэнергию, размещено с учётом соблюдения норм и правил эксплуатации. Размещение в цехе электрооборудования является компактным и удобным с точки зрения условий работы рабочего персонала.

По производственному назначению: все электроприемники относятся к двигателям силовых общепромышленных установок и производственных механизмов. Все электроприёмники цеха рассчитаны на трёхфазный переменный ток, напряжение питания 380 В и частоту питающей сети 50 Гц.

Мощность электропотребления (Рэп) указана для одного электроприемника. Перечень установленного оборудования представлен в таблице 1.1

Таблица 2.1 – Электрические нагрузки оборудования ДО-1

Наименование и номер	$P_{ном}$ , кВт	$Kи$	$cos\phi$
1	2	3	4
Конвейер №1	45	0,5	0,75
Конвейер №2	250	0,5	0,75
Конвейер №3	250	0,5	0,75
Конвейер №4	400	0,5	0,75
Конвейер №5	45	0,5	0,75
Конвейер №6	45	0,5	0,75

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
Конвейер №7	45	0,5	0,75
Конвейер №8	45	0,5	0,75
Конвейер №9	45	0,5	0,75
Конвейер №10	45	0,5	0,75
Конвейер №11	45	0,5	0,75
Конвейер №12	45	0,5	0,75
ККД №13	315	0,6	0,85
КМД №14	250	0,6	0,85
КМД №15	250	0,6	0,85
КМД №16	250	0,6	0,85
КСД №17	250	0,6	0,85
КСД №18	250	0,6	0,85
Питатель №19	20	0,6	0,8
Питатель №20	20	0,6	0,8
Телега разгрузочная №21	5,5	0,4	0,7
Телега разгрузочная №22	5,5	0,4	0,7
Телега разгрузочная №23	5,5	0,4	0,7
Грохот №24	11	0,65	0,85
Грохот №25	11	0,65	0,85
Маслостанция №26	1,5	0,6	0,85
Кран мостовой №27	28,3	0,1	0,5
Кран-балка №28	7	0,1	0,5
Кран мостовой №29	44,2	0,1	0,5
Кран мостовой №30	28,3	0,1	0,5



Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4
Кран мостовой №31	28,3	0,1	0,5
Кран мостовой №32	44,2	0,1	0,5
Вентилятор №33	5	0,6	0,8
Дымосос №34	45	0,6	0,8
Дымосос №35	90	0,6	0,8
Вентилятор №36	40	0,6	0,8
Вентилятор №37	45	0,6	0,8
Вентилятор №38	45	0,6	0,8
Вентилятор №39	45	0,6	0,8
Вентилятор №40	1,5	0,6	0,8
Вентилятор №41	28,5	0,6	0,8
Вентилятор №42	5	0,6	0,8

Для комплектования второй технологической линии крупного и среднего дробления потребуется большое количество оборудования. Перечень установленного после реконструкции оборудования приведен в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Электрические нагрузки установленного в ДО-1 оборудования

Наименование и номер	$P_{\text{ном}}$ , кВт	Ки	$\cos\varphi$
1	2	3	4
Конвейер №43	45	0,5	0,75
Конвейер №44	400	0,5	0,75
Конвейер №45	45	0,5	0,75
Конвейер №46	45	0,5	0,75
ККД №47	315	0,6	0,85

Окончание таблицы 2.2

1	2	3	4
КМД №48	250	0,6	0,85
КСД №49	250	0,6	0,85
КСД №50	250	0,6	0,85
Питатель №51	20	0,6	0,8
Питатель №52	20	0,6	0,8
Телега разгрузочная №53	5,5	0,4	0,7
Грохот №54	11	0,65	0,85
Грохот №55	11	0,65	0,85
Кран-балка №56	7	0,1	0,5
Вентилятор №57	5	0,6	0,8
Кран мостовой №59	44,2	0,1	0,5

## 2.2 Светотехнический и электротехнический расчет осветительной сети

В связи с реконструкцией дробильного отделения № 1, было принято решение, о замене устаревших светильников для ламп ДРЛ, на светодиодные светильники.

Правильное выполнение осветительных установок помогает рационально использовать электроэнергию, улучшить качество выпускаемой продукции, повысить производительность труда, уменьшить количества аварий и случаев травматизма, снижению утомляемости рабочих.

При проектировании осветительных установок большое значение имеет правильное определение требуемой освещённости объекта. Для этой цели разработаны нормы промышленного освещения. Освещение по своему назначению и использованию делится на рабочее, аварийное и эвакуационное. Основой при выборе расположения светильников заключается в доступности при их обслуживании. Значение имеет отношение расстояния между светильниками или рядами светильников к расчетной высоте стены.

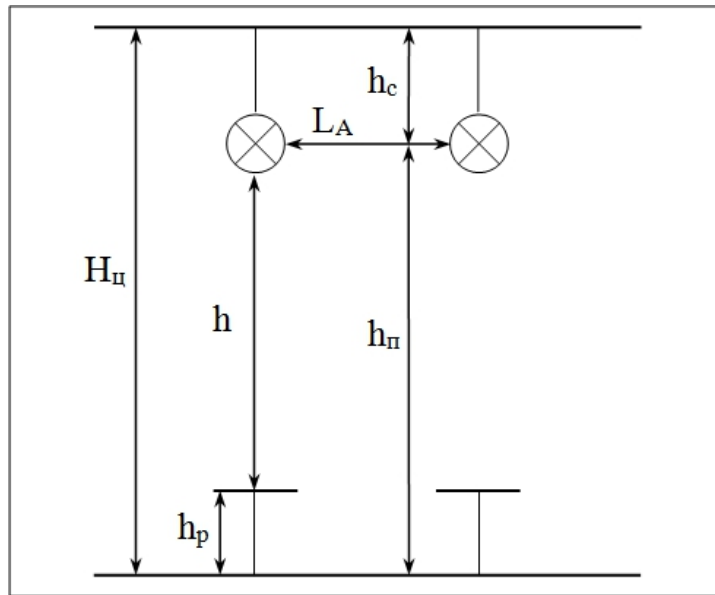


Рисунок 2.1 – Схема обозначения высот

$h_c$ - расстояние светильника от перекрытия,

$h_{п}=H-h_c$ - высота светильника над полом,

$h_p$ - высота расчетной поверхности над полом,

$h = h_{п} - h_p$  - расчетная высота,

$L$  - расстояние между соседними светильниками или рядами ламп,

$l$  - расстояние от крайних светильников или рядов светильников до стены.

Для рабочего освещения применяем светодиодные светильники, для аварийного –светодиодные с цоколем E27.

Размеры цеха:  $100 \times 92 \times 10$

Высота расчётной поверхности  $h_p = 0,8$ м, расстояние от перекрытия до светильника  $h_c = 1,2$  м.

Расстояние от светильников до рабочей поверхности:

$$h = H_{ц} - h_c - h_p = 10 - 1.2 - 0.8 = 8 \text{ м.}$$

$\lambda_{э} =$  - расстояние между светильниками к расчётной высоте.

$L / h$

Принимаем  $\lambda_{э}=1,0$ ;  $L_A = \lambda_{э} \cdot h = 1 \cdot 8 = 8 \text{ м.}$

В одном ряду можно разместить 17 светильников, тогда расстояние от стены до дальних светильников  $2 l_A = 100 - (17 \cdot 8) = 2 \Rightarrow l_A = 1 \text{ м.}$

Принимаем число рядов  $m = 10$ , тогда  $L_B = 6\text{м}$ , и расстояние от крайних светильников до стены  $2 l_B = 92 - 9 \cdot 10 = 2 l_B = 1\text{м}$ .

Общее количество светильников в цеху – 102 шт (рис.2.2).

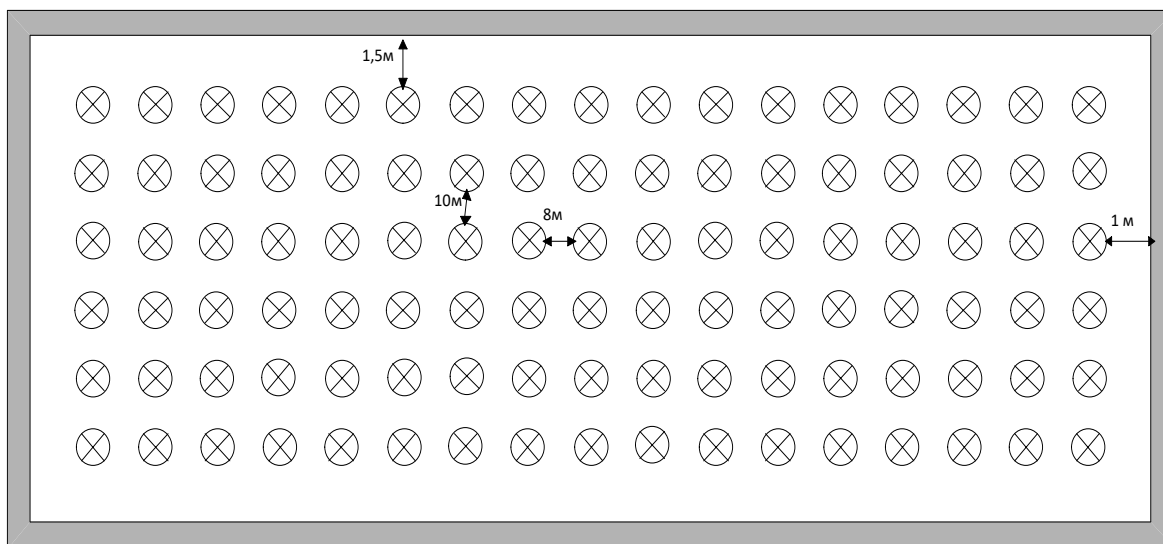


Рисунок 2.2 – Схема расположения светильников

Задача расчета осветительной установки – определить число и мощность источника света или определение фактической освещенности, создаваемой спроектированной установкой.

Расчет освещения выполняется методом коэффициента использования светового потока (нет затеняющих предметов). Светопоток ламп в каждом светильнике, необходимый для создания заданной минимальной освещенности, определяется по формуле:

$$\Phi = (E_H \cdot K_{ЗАП} \cdot F \cdot z) / (N \cdot \eta), \quad (2.3)$$

где  $K_{ЗАП}$ - коэффициент запаса,

$F$ - площадь освещаемой поверхности,  $\text{м}^2$ ,

$z = E_{СР} / E_H$ - коэффициент минимальной освещенности ( $z = 1,15$ ),

$N$ - количество светильников,

$\eta$ - коэффициент использования светового потока источника света, доли единиц.

По значению  $\Phi$  выбирается стандартная лампа так, чтобы ее поток отличался

от расчетного значения на -10% - +20%.

Индекс помещения определяется по [2] при условии, что  $L/B \leq 3,5$ . По [2] принимаем  $\rho_{\text{П}} = 0,7$ ;  $\rho_{\text{СТ}} = 0,5$ ;  $\rho_{\text{Р}} = 0,1$ .

$\rho_{\text{П}}, \rho_{\text{СТ}}, \rho_{\text{Р}}$ - коэффициенты отражения поверхностей (потолка, стен, рабочей поверхности) необходимы для выбора  $\eta$ .

Коэффициент использования светового потока является функцией индекса помещения:

$$i = \frac{L_{\text{ТТ}} \times B_{\text{ТТ}}}{h \times (L_{\text{Ц}} + B_{\text{Ц}})}$$
$$\frac{100 \times 92}{8 \times (100 + 92)} = 5.9$$

$\eta = 0,68$  - коэффициент использования светового потока.

Поток света каждого светильника, необходимый для создания заданной минимальной освещённости определяется по формуле:

Где  $E_{\text{Н}} = 150$  лк - норма освещённости,

$K_{\text{ЗАП}} = 1.5$ - коэффициент запаса,

$F$  - площадь освещаемой поверхности,

$Z = \frac{E_{\text{СР}}}{E_{\text{Н}}} = 1,15$  - коэффициент минимальной освещённости ( $E_{\text{СР}}$  -средняя освещённость),  $N$  – число светильников.

$$\Phi_{\text{р}} = \frac{150 \times 1,5 \times 9200 \times 1,15}{102 \times 0,68} = 34320 \text{ Лм}$$

По  $\Phi$  в [2] подбираем светодиодный светильник ПРОФИ НЕО 200 L ТЕРМАЛ со световым потоком  $\Phi_{\text{НОМ}} = 35000$  лм.

Отклонение светопотока считается по формуле:

$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{НОМ}} \times \Phi_{\text{р}}}{\Phi_{\text{р}}} \times 100\%$  различие между  $\Phi_{\text{НОМ}}$  и  $\Phi_{\text{р}} - 7,9\%$  , что допустимо.

$$\Delta\Phi = \frac{35000 - 34320}{34320} \times 100\%$$

Выбираем светильники марки ПРОФИ НЕО 200 L ТЕРМАЛ

## Расчет аварийного освещения

Аварийная освещенность рабочей поверхности должна составлять не менее 5% нормы и не менее 2 лк внутри зданий. Исходя из этих требований, пересчитаем количество ламп, необходимых для аварийного освещения.

Высота подвеса аварийного освещения составляет 6 метров. По этому параметру согласно [4] устанавливаются светодиодные лампы T120 и соответственно  $\lambda_c=1,5$ ; светильники типа Skat LED-220 E27.

Расчет освещения будем производить методом коэффициента использования.

1. Расчетная высота:

$$h=N-h_p-h_c=10-0,8-3,2=6 \text{ м.}$$

2. Для принятого светильника, имеющего значение  $\lambda_a=L_a/h=1,5$ .

$$L_A=\lambda_a \cdot h=1,5 \cdot 6=9 \text{ м.}$$

3. При  $L_A=9$  м в ряду можно разместить 15 светильников,

$$4. \text{ тогда } 2l=100-15 \cdot 9=3; \quad l=1,5 \text{ м.}$$

5. Принимаем число светильников 3,

$$6. \text{ тогда } L_B=6 \text{ м;}$$

$$2l=92-9 \cdot 10=2; \quad l=1 \text{ м.}$$

$$L_A/L_B=9/10=0,9 < 1,5.$$

7. Число светильников в цехе  $N=90$ .

Индекс помещения определяется по [2] при условии, что  $L/B \leq 3,5$  По [2] принимаем  $\rho_{\text{П}}=0,5$ ;  $\rho_{\text{СТ}}=0,5$ ;  $\rho_{\text{Р}}=0,1$ .

$$i = \frac{100 \times 92}{6 \times (100 + 92)} 7.2$$

Из [2] находим  $\eta = 0,52$ .

По [2] принимаем  $E_{\text{Н}}=15$  лк,  $K_{\text{ЗАП}}=1,3$ .

$$\Phi = \frac{15 \times 1,3 \times 100 \times 92 \times 1,15}{90 \times 0,52} = 4166$$

По  $\Phi$  в [2] подбираем лампу типа T120 с цоколем E27 мощностью 50Вт со световым потоком  $\Phi_{\text{НОМ}}=4250$  лм;

Отклонение от допустимого значения

$$\Delta\Phi = \frac{4250-4166}{4166} \times 100\% = 2\% < 20\%$$

различие между  $\Phi_{\text{НОМ}}$  и  $\Phi_{\text{р}}$  - 2% - что является допустимым.

Исходя из расчётов приведённого пункта возможно проектирование рабочего освещения цеха, аварийное освещение и рассчитать потери напряжения в аварийной и рабочей осветительной сети. Выбор ламп и светильников и их место положения выполнен с наибольшим приближением к экономически наиболее эффективному соотношению расстояния между светильниками. После произведения данных расчётов представляется возможным заменить осветительную схему цеха, на более новую. И сделать ее привязку к схеме электроснабжения цеха.

Электротехнический расчет электрического освещения цеха. Для светильников общего освещения используется напряжение 220 В. Электроснабжение рабочего и аварийного освещения проходит по самостоятельным линиям от главного щита освещения и главного щита аварийного освещения, проведённых к шинам низкого напряжения подстанции. Таким образом электроэнергия от подстанции передаётся питающими линиями на групповые осветительные щитки. Питание источников света производится от групповых щитков групповыми линиями.

Светильники распределяются по фазам по длине групповой линии для того, чтобы снизить потери мощности и напряжения в проводе, стробоскопического эффекта и уменьшения ущерба при потере напряжения в одной из фаз. Нагрузка считается равномерной, когда отличие моментов нагрузок небольшое.

Главная задача этого раздела: оптимально распределить светильники по фазам, выбрать осветительный щит и питающий кабель. Лампы нужно распределить относительно фаз так, чтобы получить равномерную нагрузку фаз. Нагрузка считается равномерной, когда отличие моментов нагрузок небольшое.

Проведем расчет рабочего освещения [2].

$$M = \sum P_i l_i, \quad (2.6)$$

где  $P_i$  – мощность лампы, кВт

$l_i$  – расстояние от ИП до лампы, м.

$$\sum M_a \approx \sum M_b \approx \sum M_c \quad (2.7)$$

Такое размещение позволяет выравнивать нагрузку по фазам

Выбор сечения проводников осветительной сети.

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{раб.}}$$

$$\Delta U = \frac{M_{\text{max}}}{K_c \times F}$$

$K_c = 7.4$  – для сети фаза ноль

$K_c = 44$  – для сети три фазы ноль.

Расчетная нагрузка, Вт:

$$P_{p.o.} = P_{\text{уст.}} \cdot K_c \cdot K_{\text{ПРА}}, \quad (2.9)$$

где:  $P_{\text{уст.}}$  – установленная мощность ламп.

$K_c$  – коэффициент спроса, для производственных помещений

$$K_c = 0.95$$

$K_{\text{ПРА}}$  – коэффициент учитывающий потери в пускорегулирующей аппаратуре

$K_{\text{ПРА}} = 1,2$  – для светодиодных ламп

Максимальный расчетный ток А.

$$I_{p.o.} = \frac{P_{p.o.}}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos \varphi} \text{ где } U_n \text{ – напряжение на лампах, В;}$$

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности ламп.

Проведем расчет для освещения рабочего.

На участке расположено 6 рядов по 17 светильников в каждом.

Распределим их по фазам следующим образом:

A–B–C–C–B–A–A–B–C–C–B–A–A–B–C–C–B

Определим моменты нагрузок:

$$M_A = 0,2 \cdot (29+36+71+78+113) = 65,4 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$M_B = 0,2 \cdot (1+22+43+64+85+106) = 64,2 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$M_C = 0,2 \cdot (8+15+50+57+92+99) = 64,2 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Найдем моменты нагрузок для каждого из 6 рядов, учитывая расстояние до щита освещения по формуле 2.6. Расчет приведен в таблице 2.3

Выберем сечение кабеля  $F=10 \text{ мм}^2$ , проверим его потери напряжения:



$$\Delta U = \frac{119.4}{44 \times 10} = 0.27$$

Расчетную нагрузку находим по формуле:

$$P_{p.o.} = P_{уст} \cdot K_c \cdot K_{ГПА} = 71400 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 75240 \text{ Вт}$$

Определим максимальный расчетный ток:

$$I_{p.o.} = \frac{71400}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.57} = 190.4 \text{ А}$$

Выбираем шкаф СПУ-62-5/1 с номинальным током

$I_{ном} = 280 \text{ А}$ , с бтрехфазными присоединениями по 60 А.

Расчет аварийного освещения.

На участке расположено 6 рядов по 15 светильников в каждом. Распределим их по фазам следующим образом:

A-B-C-C-B-A-A-B-C-C-B-A-A-B-C

Определим моменты нагрузок:

$$M_A = 0,06 \cdot (2+52+62+112) = 13,68 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$M_B = 0,06 \cdot (12+42+72+102) = 13,68 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$M_C = 0,06 \cdot (22+32+82+92) = 13,68 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Найдем моменты нагрузок для каждого из 6 рядов, учитывая расстояние до щита освещения. Расчет приведен в таблице 2.3

Выберем сечение кабеля  $F = 2,5 \text{ мм}^2$ , проверим его по потерям напряжения по формуле:

Потери напряжения:

$$\Delta U = \frac{13,68}{44 \times 2.5} = 0.1\%$$

Расчетную нагрузку находим по формуле:

$$P_{p.o.} = P_{уст} \cdot K_c \cdot K_{ГПА} = 5,4 \cdot 0,95 \cdot 1,2 = 6,72 \text{ Вт}$$

Определим максимальный расчетный ток по формуле 4.10:

$$I_{p.o.} = \frac{5.4}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.57}$$

Выбираем шкаф ОЩВ-6-903-16А с номинальным током.

$I_{ном} = 0,01 \text{ А}$ . Сумма моментов на щитке:

$$M_{\Sigma A} = 4,32+3,92+3,52+3,12+2,96+3,36 = 21,2 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{\Sigma A} = M_{\Sigma B} = M_{\Sigma C} = 21,2 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

Выберем кабель, питающий осветительный шкаф  $F = 2,5 \text{ мм}^2$ , проверим его по потерям напряжения:

$$\Delta U = \frac{21.2}{4.4 \times 2.5} = 0.2\%$$

Таблица 2.3 – Моменты нагрузок рабочего и аварийного освещения

Фаза	Моменты нагрузок, кВт*м	
	Рабочее освещение	Аварийное освещение
1	2	3
Линия 1		
А	111,4	13,68
В,С	119,4	13,68
Линия 2		
А	101,4	3,92
В,С	107,4	3,92
Линия 3		
А	91,4	3,52
В,С	95,4	3,52
Линия 4		
А	81,4	3,12
В,С	83,4	3,12
Линия 5		
А	87,4	2,96
В,С	90,6	2,96
Линия 6		
А	101,4	3,36
В,С	107,4	3,36

### 3 Реконструкция схемы электроснабжения цеха ДО–1

Во время проектирования здания цеха, было заранее предусмотрено место расположения установки второй линии дробления. Это заметно сделало процесс проще и экономичнее. Отличительной особенностью схем внутрицехового распределения электроэнергии - это большая разветвленность сети, а также

большое количество коммутационно-защитной аппаратуры, оказывающее сильное влияние на технико-экономические показатели и прочность системы электроснабжения.

На выбор схемы и конструктивное исполнение цеховой сети, прежде всего, влияет степень ответственности приемников электроэнергии, режимы их работы и установка на территории цеха, номинальные токи и напряжения.

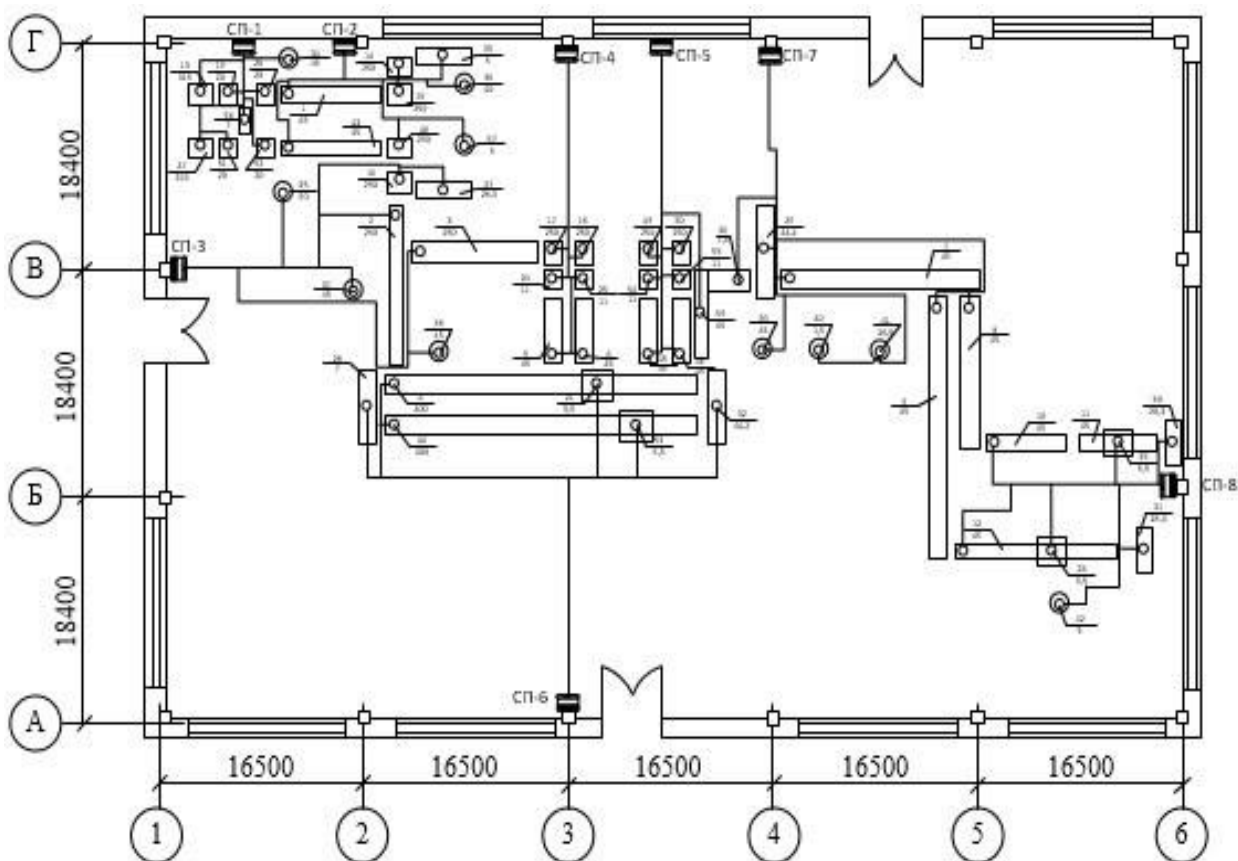


Рисунок 3.1 – Система электроснабжения цеха ДО-1 после реконструкции

#### **4 Определение расчётных электрических нагрузок и токов для выбора параметров защитных аппаратов и токоведущих элементов цеховой сети**

##### **4.1 Расчёт первого уровня электроснабжения**

На первом уровне электрические нагрузки рассчитываются для всех приемников индивидуально.

По исходным данным происходит определение номинальной активности мощности приемника электроэнергии.

Для работающих в длительном режиме установок:

$$P_{\text{НОМ}} = P_{\text{ПАСП}}, \text{ так как ПВ} = 100\% \quad (4.1)$$

Для установок работающих в повторно-кратковременном режиме:

$$P_{\text{НОМ}} = P_{\text{ПАСП}} \sqrt{\text{ПВ}}$$

Полная мощность вычисляется из выражения:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

В соответствии с НТП ЭПП-94 [18] расчетная нагрузка 1УР принимается равной номинальной нагрузке. По формулам (4.2) – (4.3) определяется так:

$$P_{\text{НОМ}} = 45 \text{ кВт},$$

$$P_{p1} = P_{\text{НОМ}} = 45 \text{ кВт},$$

$$Q_{p1} = 45 \text{ tg}(\arccos(0,75)) = 39,6 \text{ кВар},$$

$$S_{M1} = \sqrt{45^2 + 39,6^2} = 59,94 \text{ кВА}$$

При отсутствии исходных данных принимаем кратность пускового тока

$$K_{\text{П}} = 3-5.$$

$$I_p = \frac{P_{p1} \times 10^3}{\sqrt{3} \times U_{\text{НОМ}} \times \cos \varphi} = \frac{39,6 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,75} = 91,16 \text{ А}$$

$$I_{\text{П}} = K_{\text{П}} I_{p1} = 5 \times 91,16 = 455,8 \text{ А}.$$

Таблица 4.1 – Расчёт электрических нагрузок на первом уровне

Наименование ЭП	$P_{\text{НОМ}}$ ,	$P_{M1}$ ,	$Q_{M1}$ ,	$S_{M1}$ , кВА	$I_{M1}$ , А	$I_{\text{пуск}}$ , А
1	2	3	4	5	6	7
Конвейер №1	45	45	39,6	59,96	91,17	455,7
Конвейер №2	250	250	220	333,04	506,46	2532,24
Конвейер №3	250	250	220	333,04	506,46	2532,24
Конвейер №4	400	400	352	532,84	810,33	4051,7
Конвейер №5	45	45	39,6	59,95	91,17	455,6
Конвейер №6	45	45	39,6	59,95	91,17	455,6
Конвейер №7	45	45	39,6	59,95	91,17	455,6
Конвейер №8	45	45	39,6	59,95	91,17	455,6
Конвейер №9	45	45	39,6	59,95	91,17	455,6

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7
Конвейер №11	45	45	39,6	59,95	91,17	455,6
Конвейер №12	45	45	39,6	59,95	91,17	455,6
Конвейер №43	45	45	39,6	59,95	91,17	455,6
Конвейер №44	400	400	352	532,85	810,33	4051,7
Конвейер №45	45	45	39,6	59,95	91,17	455,6
Конвейер №46	45	45	39,6	59,95	91,17	455,6
ККД №18	315	315	195,3	370,65	563,06	2815,24
ККД №47	315	315	195,3	370,65	563,06	2815,24
КМД №14	250	250	155	294,17	446,88	2234,37
КМД №15	250	250	155	294,17	446,88	2234,34
КМД №16	250	250	155	294,17	446,88	2234,34
КМД №48	250	250	155	294,17	446,88	2234,34
КСД №17	250	250	155	294,17	446,88	2234,34
КСД №18	250	250	155	294,17	446,88	2234,34
КСД №49	250	250	155	294,17	446,88	2234,34
КСД №50	250	250	155	294,17	446,88	2234,34
Питатель №19	20	20	15	25	37,99	189,7
Питатель №20	20	20	15	25	37,99	189,7
Питатель №51	20	20	15	25	37,99	189,7
Питатель №52	20	20	15	25	37,99	189,7
Телега разгрузочная №21	5,5	5,5	5,61	7,88	11,95	59,8
Телега разгрузочная №22	5,5	5,5	5,61	7,88	11,95	59,8
Телега разгрузочная № 23	5,5	5,5	5,61	7,88	11,95	59,8
Телега разгрузочная №53	5,5	5,5	5,61	7,88	11,95	59,8
Грохот № 24	11	11	6,82	12,94	19,68	98,3
Грохот № 25	11	11	6,82	12,94	19,68	98,3
Грохот № 54	11	11	6,82	12,94	19,68	98,3
Грохот № 55	11	11	6,82	12,94	19,68	98,3
Маслостанция № 26	1,5	1,5	0,93	1,85	2,66	13,4
Кран балка № 28	7	7	12,11	14	21,25	106,34
Кран мостовой № 27	28,3	28,3	48,96	56,57	85,97	429,93
Кран балка № 56	7	7	12,11	14	21,26	106,33
Кран мостовой № 29	44,2	44,2	76,47	88,3	134,32	671,75
Кран мостовой № 30	28,3	28,3	48,96	56,56	85,97	429,96
Кран мостовой № 31	28,3	28,3	48,96	56,56	85,97	429,96
Кран мостовой № 59	44,2	44,2	76,47	88,3	134,33	671,75
Вентилятор № 57	5	5	3,75	6,3	9,5	47,4
Дымосос № 34	45	45	33,75	56,35	85,48	427,5
Дымосос № 35	90	90	67,5	112,7	170,92	854,63
Вентилятор № 36	40	40	30	50	75,96	379,84
Вентилятор № 42	5	5	3,75	6,35	9,5	47,5
Вентилятор № 37	45	45	33,75	56,35	85,45	427,5
Вентилятор № 38	45	45	33,75	56,35	85,45	427,5
Вентилятор № 39	45	45	33,75	56,35	85,45	427,5
Вентилятор № 40	1,5	1,5	1,13	1,88	2,84	14,24
Вентилятор № 41	28,5	28,5	21,38	35,65	54,12	270,65
Вентилятор № 42	5	5	3,75	6,25	9,50	47,5

## 4.2 Расчет второго уровня электроснабжения

На втором уровне электроснабжения расчет выполняется для групп электроприемников объединенных на силовых пунктах. В соответствии с РТМ 36.18.32.4-92 расчетную нагрузку на втором уровне определяют по методу расчетных коэффициентов. Расчет для варианта электроснабжения цеха показан в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчет второго уровня электроснабжения

Наименование узлов питания и групп электроприемников	Количество ЭП	$P_{ном}$ , общая	Коэффициент использования, $K_{и}$	$\cos\varphi$	$Tg\varphi$	$K_{и} \cdot P_{ном}$ , кВт
1	2	3	4	5	6	7
<b>СП-1а</b>						
ККД №13	1	315	0,6	0,85	0,62	189
Питатель №19	1	20	0,6	0,8	0,75	12
Питатель №20	1	20	0,6	0,8	0,75	12
Дымосос №34	1	45	0,6	0,8	0,75	27
<b>ИТ ОГО:</b>	4	400	0,6	0,8	0,7	240
<b>СП-1б</b>						
ККД №47	1	315	0,6	0,85	0,62	189
Питатель №51	1	20	0,6	0,8	0,75	12
Питатель №52	1	20	0,6	0,8	0,75	12
Кран-балка №56	1	7	0,1	0,5	1,73	0,7
<b>ИТОГО</b>	4	362	0,5	0,8	0,9	181
<b>СП-2а</b>						
Конвейер №1	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
КМД №14	1	250	0,6	0,85	0,62	150
Вентилятор №33	1	5	0,6	0,8	0,75	3
Вентилятор №36	1	40	0,6	0,8	0,75	24
<b>ИТОГО</b>	5	590	0,58	0,8	0,7	342
<b>СП-2б</b>						
Конвейер №43	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
КМД №48	1	250	0,6	0,85	0,62	150
Вентилятор №57	1	5	0,6	0,8	0,75	3
<b>ИТОГО</b>	3	300	0,56	0,8	0,75	168
<b>СП-3</b>						
Дымосос №35	1	90	0,6	0,8	0,75	54
КМД №16	1	250	0,6	0,85	0,62	150

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7
Конвейер №2	1	250	0,5	0,75	0,88	125
1	2	3	4	5	6	7
<b>ИТОГО</b>	7	958	0,5	0,75	0,9	479
<b>СП-4</b>						
КСД №17	1	250	0,6	0,85	0,62	150
КСД №18	1	250	0,6	0,85	0,62	150
Грохот №24	1	11	0,65	0,85	0,62	7,15
Грохот №25	1	11	0,65	0,85	0,62	7,15
Конвейер №5	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
Конвейер №6	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
<b>ИТОГО</b>	6	612	0,61	0,84	0,64	373
<b>СП-5</b>						
КСД №49	1	250	0,6	0,85	0,62	150
КСД №50	1	250	0,6	0,85	0,62	150
Грохот №54	1	11	0,65	0,85	0,62	7,15
Грохот №55	1	11	0,65	0,85	0,62	7,15
Конвейер №45	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
Конвейер №46	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
Конвейер №59	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
<b>ИТОГО</b>	7	657	0,6	0,83	0,68	394
<b>СП-6а</b>						
Конвейер №4	1	400	0,5	0,75	0,88	200
Телега разгрузочная №21	1	5,5	0,4	0,7	1,02	2,2
Кран-балка №28	1	7	0,1	0,5	1,73	0,7
Кран мостовой №32	1	44,2	0,1	0,5	1,73	4,42
<b>ИТОГО</b>	4	456,7	0,27	0,6	1,34	123
<b>СП-6б</b>						
Конвейер №44	1	400	0,5	0,75	0,88	200
Телега разгрузочная №53	1	5,5	0,4	0,7	1,02	2,2
<b>ИТОГО</b>	2	405,5	0,54	0,65	1,21	219
<b>СП-7</b>						
Конвейер №7	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
Конвейер №8	1	345	0,5	0,75	0,88	172,5
Конвейер №9	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
Маслостанция №26	1	1,5	0,6	0,85	0,62	0,9
Кран мостовой №29	1	44,2	0,1	0,5	1,73	4,42
Вентилятор №39	1	45	0,6	0,8	0,75	27
Вентилятор №40	1	1,5	0,6	0,8	0,75	0,9
Вентилятор №41	1	28,5	0,6	0,8	0,75	17,1
<b>ИТОГО</b>	8	555	0,5	0,76	0,86	278
<b>СП-8</b>						
Вентилятор №42	1	5	0,6	0,8	0,75	3
Кран мостовой №30	1	28,3	0,4	0,5	1,73	2,83
Кран мостовой №31	1	28,3	0,3	0,5	1,73	2,83
Конвейер №10	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
Конвейер №11	1	45	0,5	0,75	0,88	22,5
Конвейер №12	1	345	0,5	0,75	0,88	172,5
Телега разгрузочная №23	1	5,5	0,4	0,7	1,02	2,2
Телега разгрузочная №35	1	5,5	0,4	0,7	1,02	2,2
<b>ИТОГО</b>	8	507	0,5	0,73	0,94	253

Продолжение таблицы 4.2

Наименование узлов питания и групп электроприемников	Количество Э.П.	Расчетные величины		Расчетная мощность			Расчетный ток I <sub>p</sub> , А
		К <sub>и</sub> *P <sub>ном</sub> *tgφ, кВар	пр <sup>2</sup> ном	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВар	S <sub>p</sub> , кВА	
1	2	8	9	10	11	12	13
<b>СП-1а</b>							
ККД №13	1	117,18	99225	151,2	128,9	198,69	301,88
Питатель №19	1	9	400	9,6	9,9	13,79	20,95
Питатель №20	1	9	400	9,6	9,9	13,79	20,95
Дымосос №34	1	20,25	2025	21,6	22,28	31,03	47,14
<b>ИТ ОГО:</b>	4	168	160000	264	185	322	489
<b>СП-1б</b>							
ККД №47	1	117,18	99225	151,2	128,9	198,69	301,88
Питатель №51	1	9	400	9,6	9,9	13,79	20,95
Питатель №52	1	9	400	9,6	9,9	13,79	20,95
Кран-балка №56	1	1,21	49	0,56	1,33	1,44	2,19
<b>ИТОГО</b>	4	163	131044	145	130	195	296
<b>СП-2а</b>							
Конвейер №1	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
КМД №14	1	93	62500	120	102,3	157,68	239,57
КМД №15	1	93	62500	120	102,3	157,68	239,57
Вентилятор №33	1	2,25	25	2,4	2,48	3,45	5,24
Вентилятор №36	1	18	1600	19,2	19,8	27,58	41,9
<b>ИТОГО</b>	5	239	348100	274	192	335	509
<b>СП-2б</b>							
Конвейер №43	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
КМД №48	1	93	62500	120	102,3	157,68	239,57
Вентилятор №57	1	2,25	25	2,4	2,48	3,45	5,24
<b>ИТОГО</b>	3	126	90000	273	205	341	518
<b>СП-3</b>							
Дымосос №35	1	40,5	8100	43,2	59,4	73,45	111,6
КМД №16	1	93	62500	120	102,3	157,68	239,57
Конвейер №2	1	110	62500	100	121	156,97	238,49
Конвейер №3	1	110	62500	100	121	156,97	238,49
Кран мостовой №27	1	4,9	800,89	2,26	5,39	5,84	8,87
Вентилятор №37	1	20,25	2025	21,6	22,28	31,03	47,15
Вентилятор №38	1	20,25	2025	21,6	22,28	31,03	47,15



Окончание таблицы 4,2

1	2	8	9	10	11	12	13
<b>ИТОГО</b>	7	431	917764	383	345	515	782
<b>СП-4</b>							
КСД №18	1	93	62500	120	102,3	157,68	239,57
Грохот №24	1	4,43	121	5,75	4,87	7,54	11,46
Грохот №25	1	4,43	121	5,75	4,87	7,54	11,46
Конвейер №5	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
Конвейер №6	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
<b>ИТОГО</b>	6	239	374544	398	191	441	670
<b>СП-5</b>							
КСД №49	1	93	62500	120	102,3	157,68	239,57
КСД №50	1	93	62500	120	102,3	157,68	239,57
Грохот №54	1	4,43	121	5,72	4,87	7,54	11,46
Грохот №55	1	4,43	121	5,72	4,87	7,54	11,46
Конвейер №45	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
Конвейер №46	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
Конвейер №59	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
<b>ИТОГО</b>	7	268	431648	315	214	381	579
<b>СП-6а</b>							
Конвейер №4	1	176	160000	160	193,6	251,16	381,6
Телега разгрузочная №21	1	2,24	30,25	1,76	2,46	3,02	4,59
Кран-балка №28	1	1,21	49	0,56	1,33	1,44	2,19
Кран мостовой №32	1	7,65	1953,6	3,54	8,41	9,12	13,86
<b>ИТОГО</b>	4	165	207936	98	132	164	249
<b>СП-6б</b>							
Конвейер №44	1	176	160000	160	193,6	251,16	381,6
Телега разгрузочная №53	1	2,24	30,25	1,76	2,46	3,02	4,59
<b>ИТОГО</b>	2	265	164025	185	212	281	427
<b>СП-7</b>							
Конвейер №7	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
Конвейер №8	1	151,8	119025	138	121,44	184	279,6
Конвейер №9	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
Маслостанция №26	1	0,56	2,25	0,72	0,79	1,07	1,63
Кран мостовой №29	1	7,65	1953,6	3,54	3,89	5,26	7,99
Вентилятор №39	1	20,25	2025	21,6	23,76	32,76	49,77
Вентилятор №40	1	0,68	2,25	0,72	0,95	1,19	1,81
Вентилятор №41	1	12,83	812,25	13,68	14,11	19,65	29,86
<b>ИТОГО</b>	8	239	65025	222	191,2	293	445
<b>СП-8</b>							
Вентилятор №42	1	2,25	25	2,4	2,48	3,45	5,24
Кран мостовой №30	1	4,9	800,89	2,26	5,39	5,84	8,87
Кран мостовой №31	1	4,9	800,89	2,26	5,39	5,84	8,87
Конвейер №10	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
Конвейер №11	1	19,8	2025	18	21,78	28,26	42,94
Конвейер №12	1	151,8	119025	138	121,44	184	279,6
Телега разгрузочная №23	1	2,24	30,25	1,76	2,46	3,02	4,59
Телега разгрузочная №35	1	2,24	30,25	1,76	2,46	3,02	4,59
<b>ИТОГО</b>	8	238	42849	191	179	262	398

Проведем расчёт нагрузки на трансформаторы в ТП 1.

$$P_{\text{расч}} = 3530 \text{ кВт};$$

Рассмотрим коэффициент загрузки трансформатора:

Трансформаторы ТП 1 перегружены, значит требуется установка трансформаторов с наибольшей мощностью. Возьмем трансформатор типа ТМЗ 2500/6/0,4, после чего коэффициент загрузки станет:

$$K_3 = \frac{3530}{2500 \times 2} = 0,8$$

Трансформаторы перегружены, значит требуется установка компенсационных установок.

Расчет линии от ГПП до ТП 1:

$$p_0 = 3530 / (\sqrt{3} \times 6) = 340 \text{ А}$$

Пересчитаем с учетом экономической плотности тока, так как кабель применяется в сети напряжением выше 1000 В, то:

$$p_0 = \frac{340}{1,4} = 243$$

ТП1 соединяется с ГПП кабелем ААШв 3\*150 с допустимым током 246 - при прокладке на воздухе, 264 – при прокладке в земле.

#### 4.3 Расчет параметров элементов электроснабжения в сети

Учитывая количество присоединений и рабочего тока самого пункта, подберём распределительные пункты [2].

Таблица 4.3 – Выбор распределительных пунктов

Наименование	Максимальный расчетный ток, А	Тип РП (число отходящих линий), шинпровода	Допустимый ток, А
1	2	3	4
СП-1А	489	ПР 8501-У3	600
СП-1Б	296	ПР 8501-У3	400

Окончание таблицы 4.3

1	2	3	4
СП-2А	509	ПР 8501-У3	600
СП-2Б	518	ПР 8501-У3	600
СП-3	782	ПР 8501-У3	800
СП-4	670	ПР 8501-У3	800
СП-5	579	ПР 8501-У3	600
СП-6А	249	ПР 8501-У3	400
СП-6Б	427	ПР 8501-У3	600
СП-7	445	ПР 8501-У3	600
СП-8	398	ПР 8501-У3	400

Выбор автоматических выключателей выполняем по данным критериям:

а) по номинальному напряжению

$$U_{a.ном.} \geq U_{ном.сети}$$

где  $U_a$  - номинальное напряжение автомата, В.

б) по номинальному току:

$$I_{a.ном.} \geq I_p$$

Где  $I_{ном.а}$  - номинальный ток автомата, А.

Применяем автоматы типа Э40В для присоединения и резервирования распределительных пунктов, ведь им приходится пропускать большие токи нагрузки и отключать токи близких КЗ. Пусковые токи электроприемников намного меньше токов отключения автоматов.

Результаты выбора кабелей и автоматов – в таблице 4.4. Сечение провода находим по формулам:

$$I_{расп} = \frac{I_p}{k_{п}}$$

$$I_{пр} \geq K_{зап} \times I_{расп}$$

Где  $K_з = 0,8$  – поправочный коэффициент защиты (для автоматов с нерегулируемой обратозависимой от тока характеристикой);  $I_з$  – ток

срабатывания защиты, А;

$I_{ном.тр.}$  – номинальный ток срабатывания токовой отсечки, А.

Выбор сечений проводов и кабельных линий представлен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Выбор сечений кабельных линий и коммутационно-защитных аппаратов

№ Э П	Ip, А	Ино м.а , А	Кн*Ip, А	Ином. то	Тип автомата	Кз*Ином.то, А	Iпр, А	F, мм2	Марка кабеля
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
2	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
3	506,5	630	557,095	1000	ВА-8843	800	880	240	2ВВГ 4x240
4	506,5	630	557,095	1000	ВА-8843	800	880	240	2ВВГ 4x240
5	810,3	1000	891,352	1600	ВА-8843	1280	1520	185	ВВГ 4x185
6	810,3	1000	891,352	1600	ВА-8843	1280	1520	185	ВВГ 4x185
7	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
8	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
9	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
10	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
11	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
12	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
13	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
14	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
15	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
16	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128		50	ВВГ 4x50
17	91,16	100	100,276	160	ВА-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
18	563,1	630	619,355	1000	ВА-8843	800	880	240	2ВВГ 4x240
19	563,1	630	619,355	1000	ВА-8843	800	880	240	2ВВГ 4x240
20	446,9	500	491,557	800	ВА-8843	640	880	240	2ВВГ 4x240
21	446,9	500	491,557	800	ВА-8843	640	880	240	2ВВГ 4x240
22	446,9	500	491,557	800	ВА-8843	640	880	240	2ВВГ 4x240
23	446,9	500	491,557	800	ВА-8843	640	880	240	2ВВГ 4x240
24	446,9	500	491,557	800	ВА-8843	640	880	240	2ВВГ 4x240
25	446,9	500	491,557	800	ВА-8843	640	880	240	2ВВГ 4x240
26	446,9	500	491,557	800	ВА-8843	640	880	240	2ВВГ 4x240
27	446,9	500	491,557	800	ВА-8843	640	880	240	2ВВГ 4x240
28	446,9	500	491,557	800	ВА-8843	640	880	240	2ВВГ 4x240
29	37,98	40	41,778	63	ВА-8843	50,4	60	10	ВВГ 4x10
30	37,98	40	41,778	63	ВА-8843	50,4	60	10	ВВГ 4x10
31	37,98	40	41,778	63	ВА-8843	50,4	60	10	ВВГ 4x10
32	37,98	40	41,778	63	ВА-8843	50,4	60	10	ВВГ 4x10
33	11,94	16	13,134	25	ВА-8843	20	37	4	ВВГ 4x4
34	11,94	16	13,134	25	ВА-8843	20	37	4	ВВГ 4x4
35	11,94	16	13,134	25	ВА-8843	20	37	4	ВВГ 4x4
36	11,94	16	13,134	25	ВА-8843	20	37	4	ВВГ 4x4
37	19,66	25	21,626	40	ВА-8843	32	37	4	ВВГ 4x4
38	19,66	25	21,626	40	ВА-8843	32	37	4	ВВГ 4x4
39	19,66	25	21,626	40	ВА-8843	32	37	4	ВВГ 4x4
40	19,66	25	21,626	40	ВА-8843	32	37	4	ВВГ 4x4
41	19,66	25	21,626	40	ВА-8843	32	37	4	ВВГ 4x4
42	949,6	1000	1044,549	1600	ВА-8843	1280	1520	185	ВВГ 4x185
43	949,6	1000	1044,549	1600	ВА-8843	1280	1520	185	ВВГ 4x185
44	2,68	10	2,948	16	ВА-8843	12,8	37	4	ВВГ 4x4

#### Окончание таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45	21,27	25	23,397	40	BA-8843	32	37	4	ВВГ 4x4
46	85,99	100	94,589	160	BA-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
47	21,27	25	23,397	40	BA-8843	32	37	4	ВВГ 4x4
48	134,3	160	147,741	250	BA-8843	200	260	95	ВВГ 4x95
49	85,99	100	94,589	160	BA-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
50	85,99	100	94,589	160	BA-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
51	134,3	160	147,741	250	BA-8843	200	260	95	ВВГ 4x95
52	9,5	10	10,45	16	BA-8843	12,8	37	4	ВВГ 4x4
53	85,46	100	94,006	160	BA-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
54	170,9	200	188,023	320	BA-8843	256	260	95	ВВГ 4x95
55	75,97	100	83,567	160	BA-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
56	9,5	10	10,45	16	BA-8843	12,8	37	4	ВВГ 4x4
57	85,46	100	94,006	160	BA-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
58	85,46	100	94,006	160	BA-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
59	85,46	100	94,006	160	BA-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
60	85,46	100	94,006	160	BA-8843	128	150	50	ВВГ 4x50
61	2,85	10	3,135	16	BA-8843	12,8	37	4	ВВГ 4x4
62	54,13	63	59,543	100	BA-8843	80	95	25	ВВГ 4x25
63	9,5	10	10,45	16	BA-8843	12,8	37	4	ВВГ 4x4
64	9,5	10	10,45	16	BA-8843	12,8	37	4	ВВГ 4x4
65	134,3	160	147,741	250	BA-8843	200	260	95	ВВГ 4x95

#### 4.4 Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения в цеховой распределительной сети

Рассчитаем потери мощности и напряжения в кабельных линиях.

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_p \times l \times (r_{уд} \times \cos \varphi + X_{уд} \times \sin \varphi)$$

$$\Delta U = \frac{\Delta U \times 100\%}{U_{ном}} \Delta P = 3 \times I^2 \times r_{уд} \times l$$

$$\Delta P = 3 \times I_p^2 \times r_{уд} \times l$$

$$\Delta Q = 3 \times I_p^2 \times x_{уд} \times l$$

Результаты расчетов рассмотрим в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Расчёт потерь мощности и напряжения

№	cos (φ)	sin (φ)	L, м	I <sub>раб</sub> , А	F, мм <sup>2</sup>	гуд, Ом/км	худ, Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU, В	ΔQ, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,75	0,66	18	91,16	50	0,22	0,054	0,15	0,099	0,57	0,024
2	0,75	0,66	14	91,16	50	0,22	0,054	0,12	0,077	0,456	0,019
3	0,75	0,66	18	506,45	240	0,016	0,0662	0,23	0,222	0,874	0,917

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	0,75	0,66	22	506,45	240	0,016	0,0662	0,28	0,271	1,064	1,121
5	0,75	0,66	22	810,32	185	0,016	0,0662	0,45	0,693	1,71	2,869
6	0,75	0,66	19	810,32	185	0,016	0,0662	0,39	0,599	1,482	2,478
7	0,75	0,66	17	91,16	50	0,22	0,054	0,14	0,093	0,532	0,023
8	0,75	0,66	22	91,16	50	0,22	0,054	0,18	0,121	0,684	0,03
9	0,75	0,66	22	91,16	50	0,22	0,054	0,18	0,121	0,684	0,03
10	0,75	0,66	19	91,16	50	0,22	0,054	0,16	0,104	0,608	0,026
11	0,75	0,66	19	91,16	50	0,22	0,054	0,16	0,104	0,608	0,026
12	0,75	0,66	19	91,16	50	0,22	0,054	0,16	0,104	0,608	0,026
13	0,75	0,66	24	91,16	50	0,22	0,054	0,2	0,132	0,76	0,032
14	0,75	0,66	22	91,16	50	0,22	0,054	0,18	0,121	0,684	0,03
15	0,75	0,66	22	91,16	50	0,22	0,054	0,18	0,121	0,684	0,03
16	0,75	0,66	19	91,16	50	0,22	0,054	0,16	0,104	0,608	0,026
17	0,75	0,66	17	91,16	50	0,22	0,054	0,14	0,093	0,532	0,023
18	0,85	0,53	14	563,05	240	0,016	0,0662	0,17	0,213	0,646	0,881
19	0,85	0,53	22	563,05	240	0,016	0,0662	0,27	0,335	1,026	1,385
20	0,85	0,53	22	446,87	240	0,016	0,0662	0,22	0,211	0,836	0,872
21	0,85	0,53	19	446,87	240	0,016	0,0662	0,19	0,182	0,722	0,754
22	0,85	0,53	17	446,87	240	0,016	0,0662	0,17	0,163	0,646	0,674
23	0,85	0,53	22	446,87	240	0,016	0,0662	0,22	0,211	0,836	0,872
24	0,85	0,53	19	446,87	240	0,016	0,0662	0,19	0,182	0,722	0,754
25	0,85	0,53	17	446,87	240	0,016	0,0662	0,17	0,163	0,646	0,674
26	0,85	0,53	22	446,87	240	0,016	0,0662	0,22	0,211	0,836	0,872
27	0,85	0,53	19	446,87	240	0,016	0,0662	0,19	0,182	0,722	0,754
28	0,85	0,53	17	446,87	240	0,016	0,0662	0,17	0,163	0,646	0,674
29	0,8	0,6	22	37,98	10	1,84	0,073	0,58	0,175	2,204	0,007
30	0,8	0,6	22	37,98	10	1,84	0,073	0,58	0,175	2,204	0,007
31	0,8	0,6	17	37,98	10	1,84	0,073	0,45	0,135	1,71	0,005
32	0,8	0,6	14	37,98	10	1,84	0,073	0,37	0,111	1,406	0,004
33	0,7	0,71	22	11,94	4	1,84	0,073	0,16	0,017	0,608	0,001

Окончание таблицы 4.5

№	cos (φ)	sin (φ)	L, м	Iраб, А	F, мм <sup>2</sup>	гуд, Ом/км	худ, Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU,В	ΔQ,квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
34	0,7	0,71	19	11,94	4	1,84	0,073	0,14	0,015	0,532	0,001
35	0,7	0,71	17	11,94	4	1,84	0,073	0,12	0,013	0,456	0,001
36	0,7	0,71	14	11,94	4	1,84	0,073	0,1	0,011	0,38	0
37	0,85	0,53	22	19,66	4	1,84	0,073	0,32	0,047	1,216	0,002
38	0,85	0,53	22	19,66	4	1,84	0,073	0,32	0,047	1,216	0,002
39	0,85	0,53	19	19,66	4	1,84	0,073	0,27	0,041	1,026	0,002
40	0,85	0,53	24	19,66	4	1,84	0,073	0,34	0,051	1,292	0,002
41	0,85	0,53	22	19,66	4	1,84	0,073	0,32	0,047	1,216	0,002
42	0,8	0,6	22	949,59	185	0,016	0,0662	0,5	0,952	1,9	3,94
43	0,8	0,6	19	949,59	185	0,016	0,0662	0,43	0,822	1,634	3,403
44	0,85	0,53	17	2,68	4	1,84	0,073	0,03	0,001	0,114	0
45	0,5	0,87	14	21,27	4	1,84	0,073	0,13	0,035	0,494	0,001
46	0,5	0,87	22	85,99	50	0,22	0,054	0,14	0,107	0,532	0,026
47	0,5	0,87	22	21,27	4	1,84	0,073	0,21	0,055	0,798	0,002
48	0,5	0,87	19	134,31	95	0,22	0,054	0,18	0,226	0,684	0,056
49	0,5	0,87	17	85,99	50	0,22	0,054	0,1	0,083	0,38	0,02
50	0,5	0,87	22	85,99	50	0,22	0,054	0,14	0,107	0,532	0,026
51	0,5	0,87	19	134,31	95	0,22	0,054	0,18	0,226	0,684	0,056
52	0,8	0,6	17	9,5	4	1,84	0,073	0,11	0,008	0,418	0
53	0,8	0,6	22	85,46	50	0,22	0,054	0,18	0,106	0,684	0,026
54	0,8	0,6	19	170,93	95	0,22	0,054	0,31	0,366	1,178	0,09
55	0,8	0,6	24	75,97	50	0,22	0,054	0,17	0,091	0,646	0,022
56	0,8	0,6	22	9,5	4	1,84	0,073	0,14	0,011	0,532	0
57	0,8	0,6	22	85,46	50	0,22	0,054	0,18	0,106	0,684	0,026
58	0,8	0,6	19	85,46	50	0,22	0,054	0,15	0,092	0,57	0,022
59	0,8	0,6	17	85,46	50	0,22	0,054	0,14	0,082	0,532	0,02
60	0,8	0,6	14	85,46	50	0,22	0,054	0,11	0,067	0,418	0,017
61	0,8	0,6	22	2,85	4	1,84	0,073	0,04	0,001	0,152	0
62	0,8	0,6	22	54,13	25	0,74	0,068	0,34	0,143	1,292	0,013
63	0,8	0,6	19	9,5	4	1,84	0,073	0,12	0,009	0,456	0
64	0,8	0,6	17	9,5	4	1,84	0,073	0,11	0,008	0,418	0
65	0,5	0,87	22	134,31	95	0,22	0,054	0,21	0,262	0,798	0,064

Потери напряжения в кабелях, соединяющих СП с ТП рассчитываются похожим образом, что и потеря в кабелях по формулам (4.9) – (4.10). Расчеты сведём в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Расчет потерь в кабелях, питающих СП

№ РП	cos (φ)	si (φ)	L, м	Iраб, А	Iдоп, А	F, мм <sup>2</sup>	гуд, Ом/км	худ, Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU,В	ΔQ,квар
1	0,65	0,76	60	972,2	1760	240	0,069	0,0275	0,69	1,847	2,622	0,74
2	0,6	0,8	80	1060	1760	240	0,069	0,0275	0,76	1,806	2,888	0,81
3	0,42	0,91	50	1146	1760	240	0,069	0,0275	0,47	1,528	1,786	0,62
4	0,6	0,8	80	1039	1760	240	0,069	0,0275	0,38	0,903	1,444	0,385
5	0,65	0,76	60	814,2	1760	240	0,069	0,0275	0,69	1,847	2,622	0,74
6	0,6	0,8	80	2241	1760	240	0,069	0,0275	0,76	1,806	2,888	0,81
7	0,42	0,91	50	263,9	1760	240	0,069	0,0275	0,47	1,528	1,786	0,62
8	0,6	0,8	80	195,0	1760	240	0,069	0,0275	0,38	0,903	1,444	0,385

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

### 5.1 Расчет токов трехфазного короткого замыкания в сети напряжением до 1000 В

В качестве источника питания принимаем шины высокого напряжения понижающего трансформатора 6-10/0,4 кВ от генераторов и электрической системы, учитывая большую электрическую удаленность электроустановок до 1кВ

При напряжении до 1 кВ даже незначительное сопротивление существенно влияет на ток КЗ. Потому в расчетах нужно учитывать все сопротивления короткозамкнутой цепи, как активные, так и индуктивные. Также учитываются активные сопротивления всех переходных контактов в этой цепи (на шинах, на вводах и вводах аппаратов, разъемные контакты аппаратов и контакт в месте КЗ).

По [1] при расчете токов КЗ в сетях рекомендовано учитывать сопротивление по такому принципу: 0,02 Ом – для первичных цеховых РП, а



также на зажимах аппаратов, питаемых радиальными линиями от щитов подстанций или главных магистралей; 0,025 Ом – для вторичных цеховых РП, а ещё на зажимах аппаратов, питаемых от первичных РП.

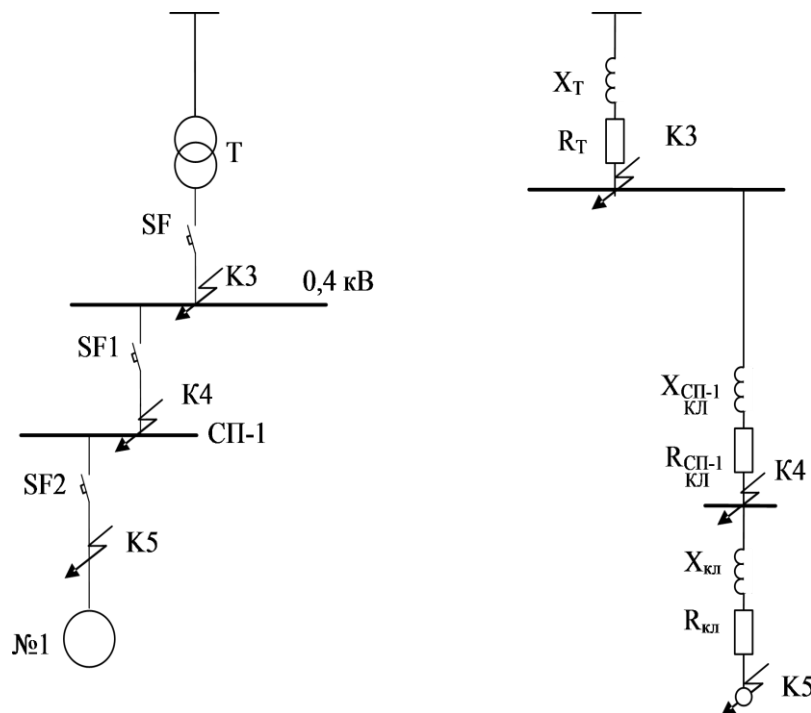


Рисунок 5.1 – Схема замещения

Рассчитаем сопротивление трансформатора ТМ-2500/10:

$$R = \frac{\Delta P_{кз} \times U_{НОМ}^2}{S_{НОМ.тр.} \times S_{НОМ.тр.}} \times 10^6 = \frac{23,5 \times 0,4^2}{2500 \times 2500} \times 10^6 = 0,6 \text{ мОм}$$

$$X_{тр} = \sqrt{\frac{U_k^2}{100} + \frac{\Delta P_{кз}^2}{S_{НОМ.тр.}} \times \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ.тр.}}} \times 10^6 = \sqrt{\frac{5,5^2}{100} \times \frac{23,5^2}{2500} \times \frac{0,4^2}{2500}} \times 10^6 = 3,57 \text{ мОм}$$

Вычисляем сопротивления в именованных единицах через сопротивления в о.е.:

$$R_{кЛ1(10)} = R_{кЛ1(о.е.)} \times \frac{U_B^2}{S_B} = 0,154 \times \frac{6,3^2}{1000} = 0,017 \text{ Ом}$$

$$X_{кЛ1(10)} = X_{кЛ1(о.е.)} \times \frac{U_B^2}{S_B} = 3,719 \times \frac{6,3^2}{1000} = 0,41 \text{ Ом}$$

Выполним приведение сопротивлений со стороны 6 кВ к ступени 0,4 кВ.

$$R_{кЛ1(0,4)} = R_{кЛ1(10)} \times K_{тр}^2$$

$$R_{\text{КЛ1}(0,4)} = 0,017 \times 0,067^2 = 0,08 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{КЛ1}(0,4)} = 0,41 \times 0,067^2 = 1,82 \text{ мОм}$$

Рассчитаем ток КЗ и сопротивление в точке КЗ напряжения цеховой подстанции: на вводе низшего

$$x_{0,4} = x_{\text{КЛ1}} + x_{\text{мп}} = 1,82 + 3,57 = 5,39 \text{ мОм. ,}$$

Суммарное активное сопротивление, не считая сопротивление элементов системы электроснабжения высшего напряжения и цехового трансформатора, обязано учитывать переходные сопротивления контактов. Произведем ввод добавочного сопротивления для этой цели в расчете, которое на шинах подстанции составляет 15 мОм:

$$I_{\text{К.3.}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \times \sqrt{x^2 + r^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times \sqrt{5.39^2 + 15.68^2}} = 13.94 \text{ кА}$$

$$i_{\text{уд.К3}} = \sqrt{2} \times K_{\text{уд}} \times I_{\text{К3}}^{(3)} = \sqrt{2} \times 1,05 \times 13,94 = 20,64 \text{ кА}$$

$$X_{\text{К4}} = X_{\text{К4}} + X_{\text{КЛ.рп-1}} \times l = 5.39 + 0.0637 \times 30 = 7.3 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{К4}} = r + r_{\text{КЛ.рп-1}} \times l + r_{\text{доб.перв.}} = 15,68 + 0,89 \times 30 + 20 = 62,38 \text{ мОм}$$

$$\frac{X_{\text{К4}}}{r_{\text{К4}}} < 0,5, \text{ следовательно } K_{\text{уд}} = 1,0 [2].$$

$$I_{\text{К.4.}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \times \sqrt{X_{\text{К4}}^2 + r_{\text{К4}}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times \sqrt{7.3^2 + 62.38^2}} = 3.68 \text{ кА}$$

$$i_{\text{уд.К4}} = \sqrt{2} \times K_{\text{уд}} \times I_{\text{К4}}^{(3)} = \sqrt{2} \times 1,05 \times 0,68 = 5,19 \text{ кА}$$

$$X_{\text{К5}} = X_{\text{К5}} + X_{\text{КЛ.рп-1}} \times l = 7,3 + 0.095 \times 7 = 7,97 \text{ мОм}$$

$$r_{\text{К5}} = r_{\text{К5}} + r_{\text{КЛ.рп}} \times l + r_{\text{доб.втор.}} = 62,38 + 12,46 \times 7 + 25 = 174,6 \text{ мОм}$$

$$\frac{X_{\text{К5}}}{r_{\text{К5}}} < 0,5, \text{ следовательно } K_{\text{уд}} = 1,0 [2].$$

$$I_{\text{К.5.}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \times \sqrt{X_{\text{К5}}^2 + r_{\text{К5}}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times \sqrt{5.19^2 + 174.6^2}} = 1.32 \text{ кА}$$

$$i_{\text{уд.К5}} = \sqrt{2} \times K_{\text{уд}} \times I_{\text{К5}}^{(3)} = \sqrt{2} \times 1 \times 1.32 = 1.8 \text{ кА}$$

Для других точек расчет практически одинаков. Результаты сведем в таблицу

5.1.

Таблица 5.1 – Расчет токов К. 3

Гочка КЗ	Кабель между РП или ШМА или электроприемником с №		Ri, мОм	Xi, мОм	L, м	r0 Ом/км	X0 Ом/км	Rкл, мОм	Xкл, мОм	Rдоб. , мОм	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	I кз, кА	K у	I уд, кА
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
К 6	СП -1	№1	54,79	5,56	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	161,19	6,605	161,325	1,432	1	2,025
К 7	СП -1	№2	56,43	7,76	9	7,4	0.095	66,6	0,855	25	148,03	8,615	148,28	1,557	1	2,202
К 8	СП -1	№20	54,79	7,91	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	168,59	9,05	168,833	1,368	1	1,935
К 9	СП -1	№5,№6	54,79	5,94	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	161,19	6,985	161,341	1,431	1	2,024
К 10	СП -1	№7	56,43	5,56	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	170,23	6,7	170,362	1,356	1	1,918
К 11	СП -1	№8	55,46	7,76	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	169,26	8,9	169,494	1,363	1	1,928
К 12	СП -1	№9	52,13	7,94	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	165,93	9,05	166,177	1,39	1	1,966
К 13	СП -1	№10	49,78	7,24	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	163,58	8,38	163,795	1,41	1	1,994
К 14	СП -1	Шины 0,4кВ	15,68	5,39	30	0,89	0.0637	26,7	1,911	20	62,38	7,301	62,086	3,677	1	5,2
К 15	СП -2	№11	54,86	8,594	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	168,66	9,734	168,941	1,367	1	1,933
К 16	СП -2	№12	54,86	8,847	15	7,4	0.095	111	1,425	25	190,86	10,272	191,136	1,208	1	1,708
К 17	СП -2	№13	49,48	7,3	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	155,88	8,345	156,103	1,479	1	2,092
К 18	СП -2	№14	50,53	5,94	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	156,93	6,985	157,085	1,47	1	2,079
К 19	СП -2	№15	51,58	7,56	14	7,4	0.095	103,6	1,33	25	180,18	8,89	180,399	1,28	1	1,81
К 20	СП -2	№16	52,13	9,76	9	7,4	0.095	66,6	0,855	25	143,73	10,615	144,121	1,602	1	2,266
К 21	СП -2	№17	59,84	6,909	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	173,64	8,049	173,826	1,329	1	1,879
К 22	СП -2	№18	63,11	5,94	15	7,4	0.095	111	1,425	25	199,11	7,365	199,246	1,159	1	1,639
К 23	СП -2	Шины 0,4кВ	15,68	5,39	45	0,89	0.0637	40,05	2,8665	20	75,73	8,2565	76,179	3,032	1	4,288
К 24	СП -3	№19	56,43	5,94	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	162,83	6,985	162,98	1,417	1	2,004
К 25	СП -3	№20	56,43	5,94	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	162,83	6,985	162,98	1,417	1	2,004
К 26	СП -3	№25	56,43	5,94	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	162,83	6,985	162,98	1,417	1	2,004
К 27	СП -3	№32	56,43	7,56	14	7,4	0.095	103,6	1,33	25	185,03	8,89	185,243	1,247	1	1,764
К 28	СП -3	№34	52,13	9,76	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	158,53	10,805	158,898	1,453	1	2,055
К 30	СП -3	№35	52,13	8,4	16	7,4	0.095	118,4	1,52	25	195,53	9,92	195,781	1,18	1	1,669
К 31	СП -3	№39	52,13	8,4	16	7,4	0.095	118,4	1,52	25	195,53	9,92	195,781	1,18	1	1,669
К 32	СП -3	Шины 0,4кВ	15,56	6,01	38	0,89	0.0637	33,82	2,4206	20	69,38	8,4306	69,89	3,304	1	4,673

Продолжение таблицы 5.1

Точка К3	Кабель между РП или ШМА или электроприемником с №	Ri, мОм	Xi, мОм	L, м	r0 Ом/км	X0 Ом/км	Rкл, мОм	Xкл, мОм	Rдоб., мОм	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	Iкз, кА	Ку	Iуд, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
К33	СП -4 №36	54,79	5,45	14	7,4	0.095	103,6	1,33	25	183,39	6,78	183,515	1,258	1	1,779
К34	СП -4 №37	54,79	5,45	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	148,03	8,615	148,28	1,432	1	2,025
К35	СП -4 №38	56,43	5,94	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	168,59	9,05	168,833	1,417	1	2,004
К36	СП -4 №40	56,43	7,56	14	7,4	0.095	103,6	1,33	25	161,19	6,985	161,341	1,247	1	1,764
К37	СП -4 №41	52,13	9,76	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	170,23	6,7	170,362	1,453	1	2,055
К38	СП -4 №42	55,46	5,94	16	7,4	0.095	118,4	1,52	25	169,26	8,9	169,494	1,161	1	1,642
К39	СП -4 №43	52,13	5,56	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	165,93	9,05	166,177	1,455	1	2,058
К40	СП -4 №61	49,78	7,76	16	7,4	0.095	118,4	1,168	25	163,58	8,38	163,795	1,194	1	1,689
К41	СП -4 Шины 0,4кВ	18,13	5,84	15	0,89	0.0637	13,35	0,9555	20	62,38	7,301	62,086	4,447	1	6,289
К42	СП -5 №33	54,79	5,56	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	168,66	9,734	168,941	1,432	1	2,025
К43	СП -5 №44, №45	56,43	7,76	9	7,4	0.095	66,6	0,855	25	190,86	10,272	191,136	1,557	1	2,202
К44	СП -5 №46, №47	54,79	7,91	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	155,88	8,345	156,103	1,368	1	1,935
К45	СП -5 №62	54,79	5,94	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	156,93	6,985	157,085	1,431	1	2,024
К46	СП -5 №23	56,43	5,56	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	180,18	8,89	180,399	1,356	1	1,918
К47	СП -5 №24	55,46	7,76	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	143,73	10,615	144,121	1,363	1	1,928
К48	СП -5 №65	52,13	7,91	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	173,64	8,049	173,826	1,39	1	1,966
К49	СП -5 №60	49,78	7,24	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	199,11	7,365	166,177	1,41	1	1,994
К50	СП -5 Шины 0,4кВ	14,73	5,46	60	0,89	0.0637	53,4	3,822	20	75,73	8,2565	163,795	2,606	1	3,685
К51	СП -6 №26	54,86	8,594	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	162,83	6,985	88,617	1,367	1	1,933
К52	СП -6 №61	54,86	8,847	15	7,4	0.095	111	1,425	25	162,83	6,985	168,941	1,208	1	1,708
К53	СП -6 №52	49,48	7,3	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	162,83	6,985	191,136	1,479	1	2,092
К54	СП -6 №21	50,53	5,94	11	7,4	0.095	81,4	1,045	25	185,03	8,89	156,103	1,47	1	2,079
К55	СП -6 №27	51,58	7,56	14	7,4	0.095	103,6	1,33	25	158,53	10,805	180,399	1,28	1	1,81
К56	СП -6 №57	52,13	9,76	9	7,4	0.095	66,6	0,855	25	195,53	9,92	144,121	1,602	1	2,266
К57	СП -6 №59	59,84	6,909	12	7,4	0.095	88,8	1,14	25	195,53	9,92	173,826	1,329	1	1,879
К58	СП -6 №56	63,11	5,94	15	7,4	0.095	111	1,425	25	69,38	8,4306	199,246	1,159	1	1,639
К59	СП -6 Шины 0,4кВ	15,68	5,39	45	0,89	0.0637	40,05	2,8665	20	75,73	8,2565	76,179	3,032	1	4,288

Окончание таблицы 5.1

Точ каК 3	Кабель между РП или ШМА или электроприемником с №	Ri, мОм	Xi, мОм	L, м	r0 Ом/км	X0 Ом/км	Rкл, мОм	Xкл, мОм	Rдоб. , мОм	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	I кз, кА	К у	I уд, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
К60	СП – 7 №48	56,43	5,94	11	7,4	0,95	81,4	1,045	25	162,83	6,985	162,98	1,417	1	2,004
К61	СП -7 №49	56,43	5,94	11	7,4	0,95	81,4	1,045	25	162,83	6,985	162,98	1,417	1	2,004
К62	СП -7 №50	56,43	5,94	11	7,4	0,95	81,4	1,045	25	162,83	6,985	162,98	1,417	1	2,004
К63	СП -7 №51	56,43	7,56	14	7,4	0,95	103,6	1,33	25	185,03	8,89	185,243	1,247	1	1,764
К64	СП -7 №33	52,13	9,76	11	7,4	0,95	81,4	1,045	25	158,53	10,805	158,898	1,453	1	2,055
К 65	СП -7 №34	52,13	9,91	11	7,4	0,95	81,4	1,045	25	158,53	10,955	158,908	1,453	1	2,055
К66	СП -7 №36	52,13	8,4	16	7,4	0,95	118,4	1,52	25	195,53	9,92	195,781	1,18	1	1,669
К 67	СП -7 №42	52,13	8,4	16	7,4	0,95	118,4	1,52	25	195,53	9,92	195,781	1,18	1	1,669
К68	СП -7 Шины 0,4кВ	15,56	6,01	38	0,89	0,0637	33,82	2,4206	20	69,38	8,4306	69,89	3,304	1	4,673
К69	СП -8 №17	54,79	5,45	14	7,4	0,95	103,6	1,33	25	183,39	6,78	183,515	1,258	1	1,779
К70	СП -8 №18	54,79	5,45	11	7,4	0,95	81,4	1,045	25	161,19	6,495	161,321	1,432	1	2,025
К 71	СП -8 №15	56,43	5,94	11	7,4	0,95	81,4	1,045	25	162,83	6,985	162,98	1,417	1	2,004
К72	СП -8 №35	56,43	7,56	14	7,4	0,95	103,6	1,33	25	185,03	8,89	185,243	1,247	1	1,764
К73	СП -8 №49	52,13	9,76	11	7,4	0,95	81,4	1,045	25	158,53	10,805	158,898	1,453	1	2,055
К74	СП -8 №50	55,46	5,94	16	7,4	0,95	118,4	1,52	25	198,86	7,46	199	1,161	1	1,642
К75	СП -8 №63	52,13	5,56	11	7,4	0,95	81,4	1,045	25	158,53	6,605	158,668	1,455	1	2,058
К76	СП -8 №64	49,78	7,76	16	7,4	0,073	118,4	1,168	25	193,18	8,928	193,386	1,194	1	1,689
К77	СП -8 Шины 0,4кВ	5,84	5,84	15	0,89	0,0637	0,9555	0,9555	20	51,48	6,7955	51,927	4,447	1	6,289

## 5.2 Проверка защитных аппаратов на отключающую способность

Проверка на отключающую способность осуществляется, исходя из выражения:  $I_{откл.ном} \geq I_{кр.мах}$  (5.2)

Таблица 5.2 – Проверка автоматических выключателей

РП	Тип автоматического выключателя	Предельная отключающая способность, кА	$I(3)$ , кА К
СП-1	ВА-5135	9	5,200
СП-2	ВА-5135	9	4,288
СП-3	ВА-5135	9	4,674
СП-4	ВА-5135	9	6,287
СП-5	ВА-5135	9	3,686
СП-6	ВА-5135	9	4,288
СП-7	ВА-5135	9	4,675
СП-8	ВА-5135	9	6,288

Так, как  $I_{откл.ном.} > I^{(3)}_{кА}$ , значит автоматы выбраны верно. Токи к.з. по мере удаления от цеховой трансформаторной подстанции становятся меньше (из-за сопротивления контактов, кабелей и пр.). По расчетам на НН токи расчетные токи к.з. не превышают 4 кА. А автоматы ВА-5125 имеют предельную отключающую способность 6 кА, что означает, эти автоматы соответствуют условиям проверки.

## 5.3 Расчет токов однофазного к.з. в сети напряжением до 1000 В

Для верного выбора параметров релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения наряду с токами трехфазных КЗ – в моём случае однофазное КЗ необходимо знать токи несимметричных КЗ чтобы проверить чувствительность автоматов НН к таким КЗ.

Ток однофазного замыкания на землю в сети 0,4 кВ с глухозаземленной

нейтралью, равен утроенному току нулевой последовательности

Полное сопротивление петли: фазный - нулевой провод:

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_d + R_n + R_{TT} + R_A)^2 + (x' + x'' + X_c + X_{TT} + X_A)^2}$$

Где  $R_\phi$ ,  $R_n$  – суммарные активные сопротивления фазного и нулевого проводов всех участков рассчитываемой цепочки (ТП - ЭП - ТП).

Для проводов из цветных металлов  $R_\phi$  и  $R_n$  равны омическому сопротивлению при  $f = 50$  Гц;  $R_d$  - 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,  $X_A = 0,00099$  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. Применяется исключительно для проводов, изготовленных из стали:

$$X'' = 0,6 \cdot R_{cm}, \quad (5.5)$$

где  $R_{cm}$  - величина активного сопротивления для различных профилей стали, определяется по кривым [13] при токах  $k I$ .

$$R_d = 30 \text{ мОм}; R_{TT} = 0,15 \text{ мОм}; X_{TT} = 0,21 \text{ мОм}; R_A = 0,4 \text{ мОм}, \\ X_A = 0,99 \text{ мОм}; X_c = 3,2 \text{ мОм}; X' = 0,6 \text{ Ом/км}; X'' = 4,46 \text{ Ом/км}.$$

Сопротивления кабельных линий на стороне ВН, мОм:

$$R_\phi = 0,04 \times 0,68 = 27,2 \text{ мОм},$$

$$X'_{к/л} = 0,04 \times 0,6 = 24 \text{ мОм},$$

$$X''_{к/л} = 0,6(0,04 + 4,46) = 107 \text{ мОм};$$

Полное сопротивление петли: фазный - нулевой провод:

$$Z_n = \sqrt{(27,2 + 30 + 27,2 + 0,15 + 0,4)^2 + (24 + 107 + 3,2 + 0,21 + 0,99)^2}$$

Ток однофазного КЗ в точке 3 на шине НН, кА:

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_r}{3} + Z_n} = \frac{400}{\frac{11.5}{3} + 159.84} = 2.44 \text{ кА}$$

Расчет тока однофазного КЗ в точке к4 шины РУ-0,4  
Кабельная линия от шин НН до РУ-0,4

$$R_{\phi} = 0,045 \times 1,93 = 86,85 \text{ мОм},$$

$$X'_{\text{к/л}} = 0,045 \times 0,6 = 27 \text{ мОм},$$

$$X''_{\text{к/л}} = 0,6(0,04 + 4,46) + 107 = 191,24 \text{ мОм}$$

Полное сопротивление петли: фазный - нулевой провод:

$$Z_n = \sqrt{(86,85 + 30 + 86,85 + 0,15 + 0,4)^2 + (27 + 191,24 + 3,2 + 0,21 + 0,99)^2} = 302,14 \text{ мОм}$$

Ток однофазного КЗ в точке к4:

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_r}{3} + Z_n} = \frac{400}{\frac{11.5}{3} + 302,14} = 1,31 \text{ кА}$$

Для примера расчета тока однофазного КЗ на шинах СП-1-0,4 кВ  
посмотрим расчёт для точки К5 - на вводе КЛ в СП-1.

Кабельная линия от шин РУ-0,4 до СП-1

$$R_{\phi} = 0,035 \cdot 1,44 = 50,4 \text{ мОм},$$

$$X'_{\text{к/л}} = 0,035 \cdot 0,6 = 21 \text{ мОм},$$

$$X''_{\text{к/л}} = 0,6(0,035 + 12,46) + 0,19124 = 452,9 \text{ мОм},$$

Полное сопротивление петли: фазный - нулевой провод:

$$Z_n = \sqrt{(50,4 + 30 + 50,4 + 0,15 + 0,4)^2 + (21 + 452,9 + 3,2 + 0,21 + 0,99)^2} = 496,01 \text{ мОм}$$

Ток однофазного КЗ в точке к5:

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_r}{3} + Z_n} = \frac{400}{\frac{11.5}{3} + 496,01} = 0,80 \text{ кА}$$



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

Расчет токов однофазных КЗ на оставшихся СП аналогичен, результаты приведены в таблице 5.3, где и произведем проверку чувствительности автоматических выключателей на линиях к однофазным КЗ по условию чувствительности:

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = 3 \times I_{\text{н.расп}}$$

Таблица 5.3 – Проверка чувствительности автоматов к однофазным КЗ в сети 0,4 кВ

Место установки	№ точки КЗ	Тип выключателя	Ирц.ном, А	Ikз(1),кА	Ikз(1)/ Ирц.ном
Линейный тр-ра	К3	ВА-88-43	630	2,44	3,88
СП-1	К14	ВА-5135	160	0,56	3,6
СП-2	К23	ВА-5135	250	0,88	3,53
СП-3	К32	ВА-5135	250	0,95	3,8
СП-4	К41	ВА-5135	160	0,74	4,63
СП-5	К50	ВА-5135	250	1,01	4,05
СП-6	К59	ВА-5135	250	0,99	3,96
СП-7	К68	ВА-5135	160	0,56	3,5
СП-8	К77	ВА-5135	250	0,88	3,52

## 6 Анализ качества напряжения цеховой сети

Эпюрой можно более наглядно показать анализ качества напряжения. Общее отклонение напряжения можно охарактеризовать исходной схемой электроснабжения. Величина напряжения на источнике питания за счет встречного регулирования напряжения исходя из режима работы следующая: в максимальном режиме  $(1,05-1,1)U_{\text{НОМ}}$ , в минимальном режиме  $U_{\text{НОМ}}$ .

Для максимального режима принимается напряжения на шинах ГПП 1,05 от номинального. Принимаем  $U_0=6300\text{В}$ .

Рассмотрим электрическую сеть питания самого мощного электроприемника (Рисунок 6.1)

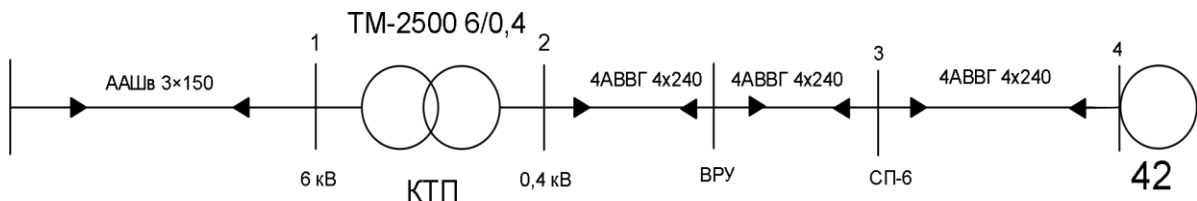


Рисунок 6.1 – Электрическая сеть для самого мощного электроприемника

а) максимальный режим:  $U_{\text{ИП}} = 1,05$ ;  $U_{\text{НОМ}} = 1,05 \times 6 = 6,3\text{кВ}$ ;

$$U_0 = 6.3\text{кВ}$$

$$\cos \varphi = 0,6;$$

$$\sin \varphi = 0,8;$$

0-1.

$$I_{\text{max}} = 63.64\text{А};$$

$$\Delta U_{01} = \sqrt{3} \times 63.64 \times 0.148 \times (0.167 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 25\text{В}$$

$$U_1 = 6300 - 25 = 6275\text{В}$$

Потери в трансформаторе:

$$\beta = \frac{\sqrt{529,3^2 + 78^2}}{2 \times 1000} = 0,42;$$

Активное напряжение:

$$U_a = \frac{5.5}{1000} \times 100\% = 0.87\%;$$

Реактивное напряжение:

$$U_p = \sqrt{4.5^2 - 0.87^2} = 4.4\%;$$

$$\Delta U_T = 0.42 \times (0.87 \times 0.6 + 4.4 \times 0.8) = 1.7\%;$$

$$\Delta U_{\text{тр}} = \left( \frac{\Delta U_{\text{тр}}\%}{100} \right) \times 6000 = \left( \frac{1,7}{100} \right) \times 6000 = 170\text{В};$$

$$U_2 = 6127.5 - 170 = 6127.5\text{В};$$

Приведем напряжение к низкой стороне:

$$U_2 = 6127.5 \times \left( \frac{400}{6300} \right) = 389\text{В};$$

$$2-3: L=120 \text{ м}$$

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0.0662 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 0.167 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\max} = 103\text{A};$$

$$\Delta U_{23} = \sqrt{3} \times 103 \times 0.12(0.167 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 3\text{В};$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 389 - 3 = 386\text{В}.$$

$$3-4: L=7,1 \text{ м}$$

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0.0662 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 0.625 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\max} = 58\text{A};$$

$$\Delta U_{34} = \sqrt{3} \times 58 \times 0,0071(0.625 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 0,3\text{В};$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 386 - 0,3 = 385,7\text{В}.$$

Отклонение напряжения:

$$V_1 = \frac{U_1 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{6297,5 - 6000}{6000} \times 100\% = 4,96\%;$$

$$V_2 = \frac{U_2 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{389 - 380}{380} \times 100\% = 2,4;$$

$$V_3 = \frac{U_3 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{386 - 380}{380} \times 100\% = 1,6\%$$

$$V_4 = \frac{U_4 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{385,7 - 380}{380} \times 100\% = 1,5\%$$

Б) минимальный режим:  $U_{\text{ИП}} = U_{\text{НОМ}} = 6\text{кВ};$

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

Ток в минимальном режиме

$$I_{\min} = 63.64 \times 0.5 = 31.82\text{A};$$

$$\Delta U_{01} = \sqrt{3} \times 63.64 \times 0,5 \times (0.167 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 12\text{В}$$

$$U_1 = 6000 - 12 = 5988\text{В}$$

Потери в трансформаторе:

$$\beta = \frac{\sqrt{264,65^2 + 39^2}}{2 \times 1000} = 0,2;$$

Активное напряжение:

$$U_a = \frac{5.5}{1000} \times 100\% = 0.87\%;$$

Реактивное напряжение:

$$U_p = \sqrt{4.5^2 - 0.87^2} = 4.4\%;$$

$$\Delta U_T = 0.2 \times (0.87 \times 0.6 + 4.4 \times 0.8) = 0.8\%;$$

$$\Delta U_{тр} = \left( \frac{\Delta U_{тр}\%}{100} \right) \times 6000 = \left( \frac{0.8}{100} \right) \times 6000 = 48\text{В};$$

$$U_2 = 5998.8 - 48 = 5950.8\text{В};$$

Приведем напряжение к низкой стороне:

$$U_2 = 5950.8 \times \left( \frac{380}{6000} \right) = 376.9\text{В};$$

2-3:  $L=120$  м

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0.0662 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 0.167 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\max} = 103 \times 0.5 = 51.5\text{А};$$

$$\Delta U_{23} = \sqrt{3} \times 103 \times 0.5 \times 0.009(0.167 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 0.0125\text{В};$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 376.9 - 0.125 = 376.775\text{В}.$$

3-4:  $L=7.1$  м

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0.0662 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 0.625 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\max} = 58 \times 0.5 = 29\text{А};$$

$$\Delta U_{34} = \sqrt{3} \times 58 \times 0.5 \times 0.0055(0.625 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 0.148\text{В};$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 376.775 - 0.148 = 376.6\text{В}.$$

Отклонение напряжения:

$$V_1 = \frac{U_1 - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \times 100\% = \frac{5998.8 - 6000}{6000} \times 100\% = -0.02\%;$$

$$V_2 = \frac{U_2 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{376,9 - 380}{380} \times 100\% = -0,8;$$

$$V_3 = \frac{U_3 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{376,8 - 380}{380} \times 100\% = -0,84\%;$$

$$V_4 = \frac{U_4 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{376,6 - 380}{380} \times 100\% = -0,9\%.$$

В) послеаварийный режим

$$U_{\text{ИП}} = 1,05; U_{\text{НОМ}} = 6,3\text{кВ};$$

$$U_0 = 6.3\text{кВ}$$

$$\cos \varphi = 0,6;$$

$$\sin \varphi = 0,8;$$

0-1.

$$I_{\text{max}} = 63.64 \times 2\text{А}.$$

$$\Delta U_{01} = \sqrt{3} \times 63.64 \times 2 \times 0.148 \times (0.167 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 5\text{В}$$

$$U_1 = 6300 - 5 = 6295\text{В}$$

Потери в трансформаторе:

$$\beta = \frac{\sqrt{529,3^2 + 78^2}}{2 \times 1000} = 0,84;$$

Активное напряжение:

$$U_a = \frac{5.5}{1000} \times 100\% = 0.87\%;$$

Реактивное напряжение:

$$U_p = \sqrt{4.5^2 - 0.87^2} = 4.4\%;$$

$$\Delta U_T = 0.84 \times (0.87 \times 0.6 + 4.4 \times 0.8) = 3,36\%;$$

$$\Delta U_{\text{тр}} = \left( \frac{\Delta U_{\text{тр}}\%}{100} \right) \times 6000 = \left( \frac{3,36}{100} \right) \times 6000 = 201,6\text{В};$$

$$U_2 = 6295 - 202 = 6093\text{В};$$

Приведем напряжение к низкой стороне:

$$U_2 = 6093 \times \left( \frac{400}{6300} \right) = 387\text{В};$$

2-3: L=120 м

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0.0662 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 0.167 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\max} = 103 \times 2 \text{ А};$$

$$\Delta U_{23} = \sqrt{3} \times 103 \times 2 \times 0.12(0.167 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 6,7 \text{ В};$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 387 - 6,7 = 380,3 \text{ В}.$$

$$3-4: L=7,1 \text{ м}$$

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0.0662 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 0.625 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\max} = 58 \times 2 \text{ А};$$

$$\Delta U_{34} = \sqrt{3} \times 58 \times 2 \times 0,0071(0.625 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 0,46 \text{ В};$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 380,3 - 0,46 = 379,84 \text{ В}.$$

Отклонение напряжения:

$$V_1 = \frac{U_1 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{6295 - 6000}{6000} \times 100\% = 4,9\%;$$

$$V_2 = \frac{U_2 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{387 - 380}{380} \times 100\% = 1,84\%;$$

$$V_3 = \frac{U_3 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{380,3 - 380}{380} \times 100\% = 0,8\%$$

$$V_4 = \frac{U_4 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{379,84 - 380}{380} \times 100\% = -0,042\%$$

Самый удаленный электроприемник.

Наиболее электрически удаленным электроприемником является ЭП № 64.

Так как, что потери напряжения составляют 3,2%.

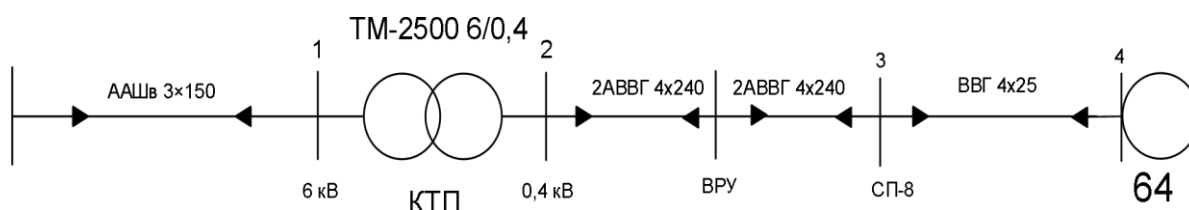


Рисунок 7.2 – промежутки линии сети

Промежутки 0-1 и 1-2 совпадают с прошлым пунктом. Значит нужно провести расчёт только 2-3 и 3-4.

$$\text{а) максимальный режим: } U_{\text{ИП}} = 1,05; U_{\text{НОМ}} = 6,3\text{кВ}; U_0 = 6.3\text{кВ}$$

$$\cos \varphi = 0,6;$$

$$\sin \varphi = 0,8;$$

0-1.

$$I_{\text{max}} = 243\text{А};$$

$$\Delta U_{01} = \sqrt{3} \times 243 \times 0.148 \times (0.167 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 9,5\text{В}$$

$$U_1 = 6300 - 9,55 = 6290,5\text{В}$$

Потери в трансформаторе:

$$\beta = \frac{\sqrt{529,3^2 + 78^2}}{2 \times 2500} = 0,1;$$

Активное напряжение:

$$U_a = \frac{5.5}{2500} \times 100\% = 0.22\%;$$

Реактивное напряжение:

$$U_p = \sqrt{4.5^2 - 0.22^2} = 4.4\%;$$

$$\Delta U_T = 0.42 \times (0.87 \times 0.6 + 4.4 \times 0.8) = 1.7\%;$$

$$\Delta U_{\text{тр}} = \left( \frac{\Delta U_{\text{тр}}\%}{100} \right) \times 6000 = \left( \frac{1,7}{100} \right) \times 6000 = 102\text{В};$$

$$U_2 = 6297.5 - 170 = 6195.5\text{В};$$

Приведем напряжение к низкой стороне:

$$U_2 = 6195.5 \times \left( \frac{400}{6300} \right) = 393\text{В};$$

$$2-3: L=120 \text{ м}$$

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0.0662 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 0.167 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\text{max}} = 103\text{А};$$

$$\Delta U_{23} = \sqrt{3} \times 103 \times 0.12(0.167 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 3\text{В};$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 393 - 3 = 390\text{В.}$$

$$3-4: L=5,7 \text{ м}$$

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0.104 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 12,5 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\max} = 20\text{А};$$

$$\Delta U_{34} = \sqrt{3} \times 20 \times 0,0057(12,5 \times 0.6 + 0,104 \times 0.8) = 1,4\text{В};$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 390 - 1,43 = 388,6\text{В.}$$

Отклонение напряжения:

$$V_1 = \frac{U_1 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{6297,5 - 6000}{6000} \times 100\% = 4,96\%;$$

$$V_2 = \frac{U_2 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{393 - 380}{380} \times 100\% = 3,4;$$

$$V_3 = \frac{U_3 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{390 - 380}{380} \times 100\% = 2,6\%$$

$$V_4 = \frac{U_4 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{388,6 - 380}{380} \times 100\% = 2,3\%$$

Б) минимальный режим:  $U_{\text{ИП}} = U_{\text{НОМ}} = 6\text{кВ};$

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

Ток в минимальном режиме

$$I_{\min} = 243 \times 0.5 = 121,5\text{А};$$

$$\Delta U_{01} = \sqrt{3} \times 121,5 \times 0,148 \times (0.167 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 4,7\text{В}$$

$$U_1 = 6000 - 4,7 = 5995,3\text{В}$$

Потери в трансформаторе:

$$\beta = \frac{\sqrt{264,65^2 + 39^2}}{2 \times 2500} = 0,2;$$

Активное напряжение:

$$U_a = \frac{5.5}{2500} \times 100\% = 0.22\%;$$

Реактивное напряжение:



$$U_p = \sqrt{4.5^2 + 0.22^2} = 4.4\%;$$

$$\Delta U_T = 0.2 \times (0.87 \times 0.6 + 4.4 \times 0.8) = 0,8\%;$$

$$\Delta U_{\text{тр}} = \left(\frac{\Delta U_{\text{тр}}\%}{100}\right) \times 6000 = \left(\frac{0,8}{100}\right) \times 6000 = 48\text{В};$$

$$U_2 = 5998,8 - 48 = 5950,8\text{В};$$

Приведем напряжение к низкой стороне:

$$U_2 = 5950,8 \times \left(\frac{380}{6000}\right) = 376,9\text{В};$$

$$2-3: L=120 \text{ м}$$

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0.0662 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 0.167 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\text{max}} = 103 \times 0,5 = 51,5\text{А};$$

$$\Delta U_{23} = \sqrt{3} \times 103 \times 0,5 \times 0,12(0.167 \times 0.6 + 0.0662 \times 0.8) = 1,5\text{В};$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 376,9 - 1,5 = 175,4\text{В}.$$

$$3-4: L=5,7 \text{ м}$$

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0.104 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 12,5 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\text{max}} = 20 \times 0,5 = 29\text{А};$$

$$\Delta U_{34} = \sqrt{3} \times 20 \times 0,5 \times 0,0057(12,5 \times 0.6 + 0,104 \times 0.8) = 0,7\text{В};$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 175,4 - 0,7 = 174,7\text{В}.$$

Отклонение напряжения:

$$V_1 = \frac{U_1 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{5998,8 - 6000}{6000} \times 100\% = -0,02\%;$$

$$V_2 = \frac{U_2 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{376,9 - 380}{380} \times 100\% = -0,8\%;$$

$$V_3 = \frac{U_3 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{175,4 - 380}{380} \times 100\% = -1,2\%;$$

$$V_4 = \frac{U_4 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{374,4 - 380}{380} \times 100\% = -1,5\%.$$

В) послеаварийный режим

$$U_{\text{ИП}} = 1,05; U_{\text{НОМ}} = 6,3\text{кВ}; U_0 = 6,3\text{кВ}$$

$$\cos \varphi = 0,6;$$

$$\sin \varphi = 0,8;$$

0-1.

$$I_{\text{max}} = 243 \times 2 = 486\text{А.}$$

$$\Delta U_{01} = \sqrt{3} \times 486 \times 0,148 \times (0,167 \times 0,6 + 0,0662 \times 0,8) = 19\text{В}$$

$$U_1 = 6300 - 5 = 6295\text{В}$$

Потери в трансформаторе:

$$\beta = \frac{\sqrt{529,3^2 + 78^2}}{2 \times 2500} = 0,1;$$

Активное напряжение:

$$U_a = \frac{5,5}{2500} \times 100\% = 0,22\%;$$

Реактивное напряжение:

$$U_p = \sqrt{4,5^2 - 0,22^2} = 4,4\%;$$

$$\Delta U_T = 0,84 \times (0,87 \times 0,6 + 4,4 \times 0,8) = 3,36\%;$$

$$\Delta U_{\text{тр}} = \left( \frac{\Delta U_{\text{тр}}\%}{100} \right) \times 2500 = \left( \frac{3,36}{100} \right) \times 2500 = 336\text{В};$$

$$U_2 = 6295 - 336 = 5959;$$

Приведем напряжение к низкой стороне:

$$U_2 = 5959 \times \left( \frac{400}{6300} \right) = 387\text{В};$$

2-3: L=120 м

$$\cos \varphi = 0,6;$$

$$\sin \varphi = 0,8;$$

$$x_0 = 0,0662 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 0,167 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\text{max}} = 103 \times 2\text{А};$$

$$\Delta U_{23} = \sqrt{3} \times 103 \times 2 \times 0,12(0,167 \times 0,6 + 0,0662 \times 0,8) = 6\text{В};$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 387 - 6 = 381\text{В.}$$

$$3-4: L=5,7 \text{ м}$$

$$\cos \varphi = 0.6;$$

$$\sin \varphi = 0.8;$$

$$x_0 = 0,104 \text{ Ом/км};$$

$$r_0 = 12,5 \text{ Ом/км};$$

Ток

$$I_{\max} = 20\text{А};$$

$$\Delta U_{34} = 2\sqrt{3} \times 20 \times 0,0057(12,5 \times 0.6 + 0.104 \times 0.8) = 3\text{В};$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 381 - 3 = 378\text{В.}$$

Отклонение напряжения:

$$V_1 = \frac{U_1 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{6295 - 6000}{6000} \times 100\% = 4,9\%;$$

$$V_2 = \frac{U_2 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{387 - 380}{380} \times 100\% = 1,84;$$

$$V_3 = \frac{U_3 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{381 - 380}{380} \times 100\% = 0,3\%$$

$$V_4 = \frac{U_4 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\% = \frac{378 - 380}{380} \times 100\% = -0,5\%$$

Отклонения находятся в пределах допуска.

Наиболее мощный ЭП (отклонение напряжения по оси ординат в 4,9%)

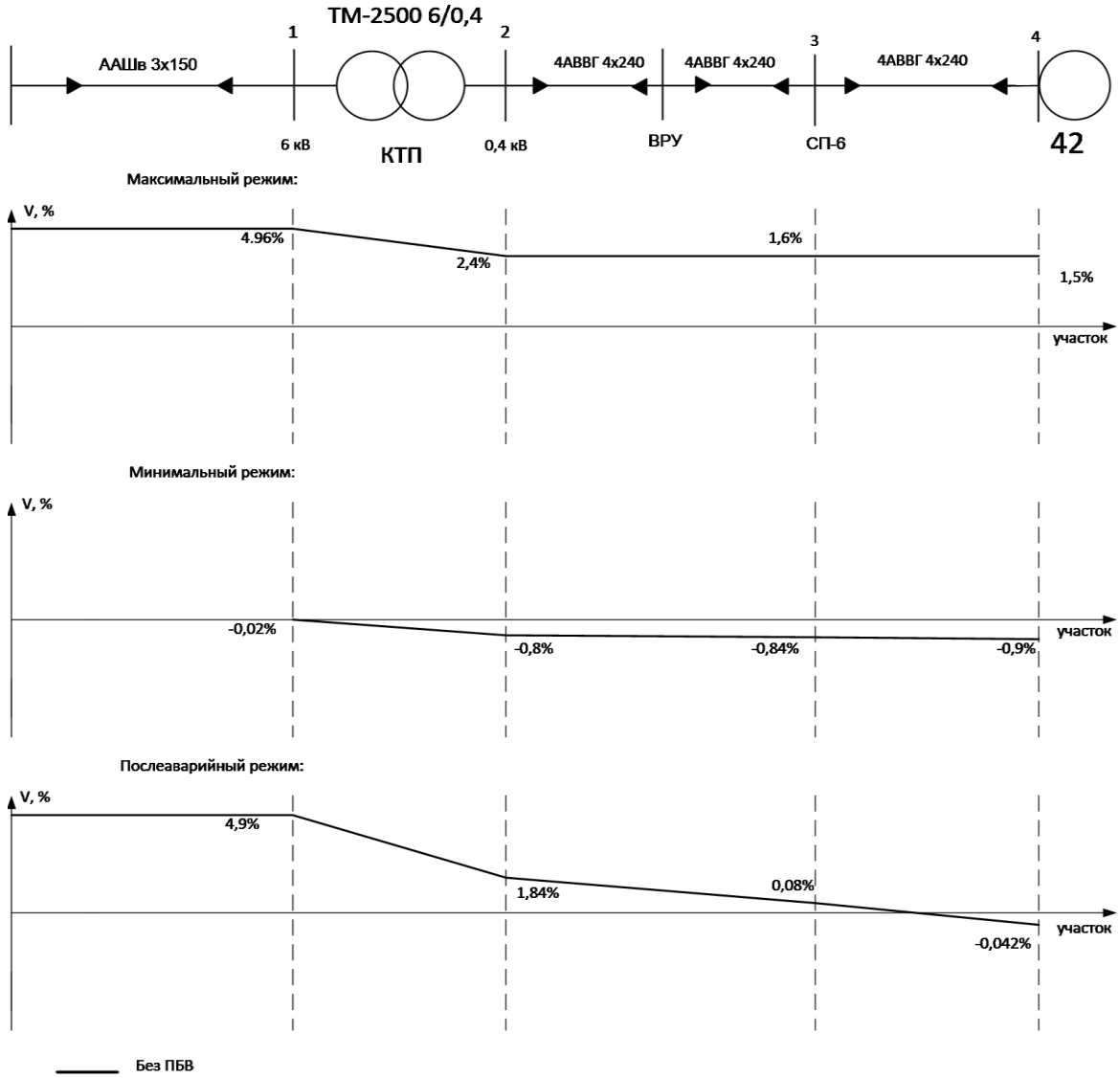


Рисунок 6.3 – Эпюры напряжения цеховой сети

Самый удаленный ЭП (отклонение напряжения по оси ординат в %)

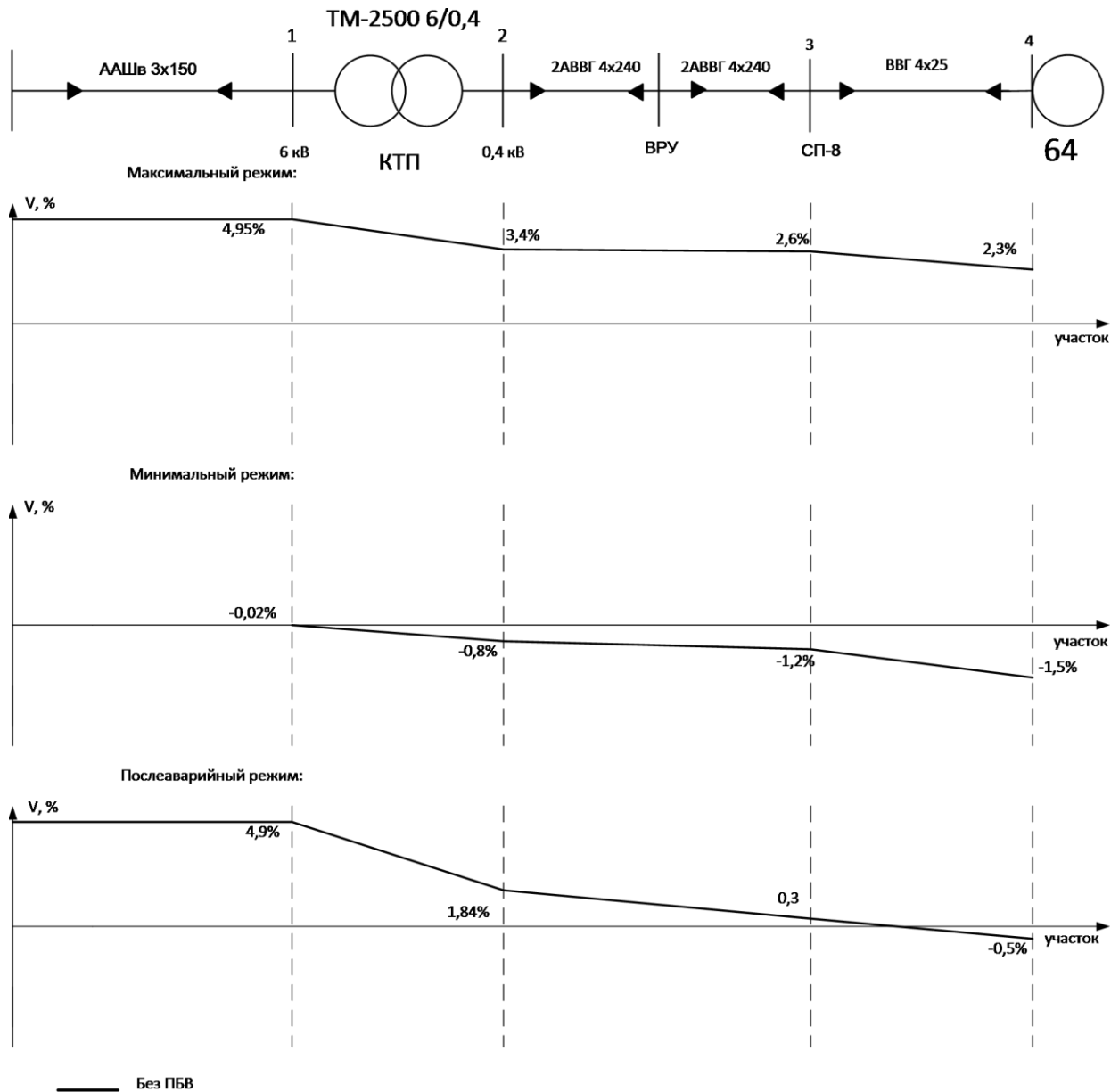


Рисунок 6.4 – Эпюры напряжения цеховой сети

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной выпускной работе выполнена реконструкция схемы электроснабжения основного производства обогатительной фабрики в связи с увеличением производственных мощностей дробильного отделения № 1.

В ходе выполнения работы была дана характеристика объекта проектирования, состава и технических характеристик электроприемников. Дано обоснование реконструкции электроснабжения и обзор методов расчета электрических нагрузок.

Рассчитаны электрические нагрузки для силовых электроприемников, а также количество и мощность светильников, рассчитана нагрузка на втором уровне электроснабжения для узлов питания. Для выбора щитов наружного освещения, кабелей и защитной аппаратуры произведены электротехнические расчеты рабочего и аварийного освещения.

Для защиты узлов второго уровня и индивидуальных электроприемников выбраны защитные аппараты (автоматические выключатели), и далее, с ними согласованы сечения проводников (кабельные линии различного сечения), которые выбирались согласно условиям их прокладки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Электронный ресурс] : учебник / Т. В. Анчарова [и др.] - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2018. - 414 с.
2. Афонин В. В. Электрические станции и подстанции [Электронный ресурс]: учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 1 / В. В. Афонин, К. А. Набатов ; Тамбовский гос. техн. ун-т. - Тамбов : ТГТУ : ЭБС АСВ, 2015. - 90 с.
3. Богданов, А. В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Богданов, А. В. Бондарев. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 82 с.
4. Вахнина, В. В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина [и др.]; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2016. - 78 с.
5. Вахнина, В. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина [и др.] ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». - Тольятти : ТГУ, 2015. - 46 с.
6. Вахнина, В. В. Электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы: учебно-методическое пособие для студентов направления 13.03.02 / В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2019. – 35 с.
7. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / В.В. Вахнина. – 2-е изд., стер. – Тольятти : ТГУ, 2011. – 68 с.
8. Кокин С.Е. Схемы электрических соединений подстанций: Учебное пособие / Кокин С.Е., Дмитриев С.А., Хальясмаа А.И., - 2-е изд., стер. -

М.:Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 100 с.

9. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учебник / Е.А. Конюхова. – Электрон. дан. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2014. – 510 с.

10. Кулеева Л.И. Проектирование подстанции [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 111 с.

11. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.

12. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - М: «Инфра-Инженерия»2018. - 148 с.

13. НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. М.: АООТ ОТК ЗВНИ ПКИ Тяжпромэлектропроект, 1994 (1-я редакция).– 78 с.

14. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. Н. Ополева. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2018. - 416 с.

15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: ИНФРА-М, 2018. - 262 с.

16. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. - 7-е изд. - Электрон. текстовые данные. - М.: ЭНАС, 2013. - 104 с.

17. 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.

18. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2007. – 27 с.



19. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 - 750 кВ [Электронный ресурс].

- Электрон. текстовые данные. - М. : ЭНАС, 2017. - 80 с.

20. Релейная защита и автоматика в электрических сетях [Электронный ресурс] / ред. В. В. Дрозд. - Электрон. текстовые данные. - М. : Издательский дом ЭНЕРГИЯ, Альвис, 2012. - 632 с.

21. Релейная защита электроэнергетических систем / Андреев М.В., Рубан Н.Ю., Суворов А.А., Гусев А.С., Сулайманов А.О. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. - 167 с.

22. Русина, А. Г. Режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: учебник / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. - Электрон. текстовые данные. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. - 400 с.

23. Соловьев, А. Л. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Л. Соловьев, М. А. Шабад ; под ред. А. В. Беляев. - Электрон. текстовые данные. - СПб. : Политехника, 2016. - 176 с.

24. Хромченко, Г. Е. Проектирование кабельных сетей и проводок / Г.Е. Хромченко, П.И. Анастасиев, Е.З. Бранзбург, А.В. Коляда. - М.: Энергия, 2010. – 397 с.

25. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2010. – 214 с.

26. Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. А. Ершов, О. П. Халезина, А. В. Малеев и др. - Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2012. – 68 с. ISBN 978-5-7638-2555-8.

<https://new.znaniium.com/catalog/document?id=163547> (дата обращения 05.06.2020).

27. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 12-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2012. – 966 с.

28. Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 11-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2014. – 704 с.

29. Электротехнический справочник: в 3-х т. Т. 2. Электротехнические устройства/Под. общ. ред. Проф. МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского, Л. А. Жукова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат, 2011. – 658 с.

30. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 2. Электротехнические устройства и изделия / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 10-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2012. – 988 с.

Бакалаврская работа выполнена мной самостоятельно. Используемые в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в 1 экземпляре.

Библиография 30 наименований.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_  
(дата)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

А. Н. Осипов  
(ФИО)

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

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

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.С. Торопов  
подпись      инициалы, фамилия  
«06.» 07 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Реконструкция схемы электроснабжения основного производства  
обогащательной фабрики ООО «Сорский ферромолибденовый завод»

тема

Руководитель	<u>Дулесова</u> подпись, дата	<u>3</u> <u>доконт. к. т. н.</u> должность, ученая степень	<u>Н.В. Дулесова</u> инициалы, фамилия
Выпускник	<u>Осипов</u> подпись, дата		<u>А.Н. Осипов</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	<u>Кычак</u> подпись, дата		<u>И.А. Кычак</u> инициалы, фамилия

Абакан 2023