

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

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО

«Сибирский федеральный университет»

институт

«Электроэнергетика»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г.Н. Чистяков

подпись

инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Реконструкция схемы электроснабжения главной вентиляторной установки
участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск

тема

Руководитель _____
подпись, дата

доцент, к.т.н.
должность, ученая степень

Е. В. Платонова
инициалы, фамилия

Выпускник _____
подпись, дата

А. В. Сытник
инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____
подпись, дата

И.А. Кычакова
инициалы, фамилия

Абакан 2022

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

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

Кафедра «Электроэнергетика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н. Чистяков

«__» _____ 2022 г.

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

Студенту Сытник Артему Владимировичу

(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭн 17-01(з-17) Направление 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

(код)

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Реконструкция схемы электроснабжения главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск

Утверждена приказом по институту № _____ от _____

Руководитель ВКР Е. В. Платонова, доцент кафедры «Электроэнергетика»

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

Исходные данные для ВКР данные по установленному электрооборудованию, существующей системе электроснабжения главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск.

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

Введение

1 Характеристика объекта проектирования

2 Характеристика существующей схемы электроснабжения объекта

3 Цели и задачи ВКР

4 Расчет электрических нагрузок первичных групп электроприемников

5 Светотехнический расчет освещения

5.1 Расчет рабочего освещения

5.2 Расчет аварийного освещения

5.3 Мощность осветительной нагрузки

6 Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети

7 Выбор мощностей и количества трансформаторов. Проверка необходимости компенсации реактивной мощности в сети

8 Выбор конструктивного исполнения электрической сети, марки проводов, кабелей, способов их прокладки

9 Расчет защитных аппаратов электрических приемников и электрических сетей

10 Выбор сечений проводов и жил кабелей для подключения ЭП

11 Электротехнический расчет электрического освещения. Выбор щитов освещения, кабелей и защитной аппаратуры

11.1 Электротехнический расчет рабочего освещения

11.2 Электротехнический расчет аварийного освещения

12 Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания и проверка коммутационно-защитной аппаратуры по условиям устойчивости тока короткого замыкания

13 Расчет стоимости реконструкции системы электроснабжения главной вентиляторной установки

Заключение

Список использованных источников

Перечень обязательных листов графической части:

1. План главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск с силовыми сетями

2. План главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск с осветительными сетями

3. Однолинейная схема электроснабжения главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск

Руководитель ВКР _____ Е. В. Платонова

(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению _____ А. В. Сытник

(подпись, инициалы и фамилия студента)

« 30 » марта 2022 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Реконструкция схемы электроснабжения главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск» содержит 65 страниц текстового документа, 25 использованных источников, 3 листа графического материала, приложений нет.

РЕКОНСТРУКЦИЯ, ОБЪЕКТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СУЩЕСТВУЮЩАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ, ОСВЕЩЕНИЕ, ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР, ЗАЩИТНЫЙ АППАРАТ, КАБЕЛЬ, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.

Объект исследования – главная вентиляторная установка участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск.

Предмет исследования – система электроснабжения главной вентиляторной установки.

Целью бакалаврской работы является реконструкция действующей системы электроснабжения для повышения надежности электроснабжения потребителей главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск.

В ходе выполнения работы была дана характеристика объекта проектирования и действующей схемы его электроснабжения. На предварительном этапе были рассчитаны электрические нагрузки на первом уровне для силовых электроприемников, а также количество и мощность светильников, рассчитана нагрузка на втором уровне электроснабжения для узлов питания. На основании этих полученных результатов были выбраны актуальные марки трансформаторов соответствующей мощности и с учетом применения компенсирующих устройств для повышения коэффициента мощности и выполнения договорных условий по электроснабжению.

Для защиты узлов второго уровня и индивидуальных электроприемников выбраны защитные аппараты (автоматические выключатели), и далее, с ними согласованы сечения проводников (кабельные линии различного сечения). Для выбора щитов освещения, кабелей и защитной аппаратуры произведены электротехнические расчеты рабочего и аварийного освещения.

В конечном счете, была посчитана стоимость реконструкции системы электроснабжения главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск.

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

Final qualifying work on the topic "Reconstruction of the power supply circuit of the main fan installation of the VS-6 section of the Taimyrsky mine, Norilsk" contains 65 pages of a text document, 25 sources used, 3 sheets of graphic material, no applications.

RECONSTRUCTION, DESIGN OBJECT, EXISTING POWER SUPPLY SCHEME OF THE FACILITY, ELECTRIC LOADS, LIGHTING, HIGH-VOLTAGE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR, POWER TRANSFORMER, PROTECTIVE DEVICE, CABLE, SHORT-CIRCUIT CURRENT.

The object of study is the main fan unit of the VS-6 section of the Taimyrsky mine, Norilsk.

The subject of the study is the power supply system of the main fan unit.

The purpose of the bachelor's work is the reconstruction of the existing power supply system to improve the reliability of power supply to consumers of the main fan installation of the VS-6 section of the Taimyrsky mine, Norilsk.

In the course of the work, a description of the design object and the current scheme of its power supply was given. At the preliminary stage, electrical loads were calculated at the first level for power receivers, as well as the number and power of lamps, the load at the second level of power supply for power units was calculated. Based on these results, the current brands of transformers of the appropriate power were selected, taking into account the use of compensating devices to increase the power factor and fulfill contractual conditions for power supply.

To protect the nodes of the second level and individual electrical receivers, protective devices (circuit breakers) were selected, and further, the sections of conductors (cable lines of various sections) were coordinated with them. To select lighting panels, cables and protective equipment, electrical calculations of working and emergency lighting were made.

Ultimately, the cost of the reconstruction of the power supply system of the main fan installation of the VS-6 section of the Taimyrsky mine, Norilsk, was calculated.

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	7
1 Характеристика объекта проектирования	9
2 Характеристика действующей схемы электроснабжения объекта	10
3 Методика расчета электрических нагрузок промышленных объектов	15
4 Расчет электрических нагрузок первичных групп электроприемников	18
5 Светотехнический расчет освещения	22
5.1 Расчет рабочего освещения	22
5.2 Расчет аварийного освещения	25
5.3 Мощность осветительной нагрузки	29
6 Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети	30
7 Выбор мощностей и количества трансформаторов. Проверка необходимости компенсации реактивной мощности в сети	32
8 Выбор конструктивного исполнения электрической сети, марки проводов, кабелей, способов их прокладки	38
9 Расчет защитных аппаратов электрических приемников и электрических сетей	39
10 Выбор сечений проводов и жил кабелей для подключения ЭП	42
11 Электротехнический расчет электрического освещения. Выбор щитов освещения, кабелей и защитной аппаратуры	45
11.1 Электротехнический расчет рабочего освещения	45
11.2 Электротехнический расчет аварийного освещения	48
12 Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания и проверка коммутационно-защитной аппаратуры по условиям устойчивости токам короткого замыкания	50
13 Расчет стоимости реконструкции системы электроснабжения главной вентиляторной установки	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	64

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование или реконструкция системы электроснабжения какого-либо объекта (предприятия, учреждения и т.д.) – это ряд технических мероприятий по проработке основных параметров и характеристик будущей системы электроснабжения. Проект реконструкции схемы электроснабжения позволяет представителям монтажной организации и непосредственному заказчику наиболее точно представить себе структуру системы электроснабжения, определить типы и марки применяемой кабельной продукции, аппаратов защиты и других электроустановок, увидеть расчетные нагрузки в каждом сегменте электрической сети. Кроме того, такой проект позволяет с высокой точностью определить стоимость материалов, оборудования и монтажа системы электроснабжения, и чем крупнее объект, тем более актуальной и полезной становится эта возможность.

В процессе технологического присоединения к электросетям перед представителями организации рано или поздно возникает задача оформления такого проекта. На этапе реконструкции очень важно правильно учесть все нюансы производства и схемы присоединения. От этого зависит не только надежность энергоснабжения предприятия (или любого другого объекта), но также и стоимость электричества в дальнейшем (цена на электроэнергию зависит от условий технологического присоединения, и соответственно, от условий проектирования энергоснабжения объекта).

В последнее время возросла роль вентиляции и в создании условий для высокопроизводительной работы в шахтах и рудниках. Требования непрерывного повышения безопасности труда и интенсификации производственных процессов поставили перед рудничной вентиляцией ряд новых задач и явились причиной ее быстрого развития.

Рудничная вентиляция – это совокупность мероприятий и средств, предназначенных для обеспечения параметров рудничной атмосферы, установленных санитарными нормами и технологическими требованиями. Немаловажным элементом здесь выступают различные инженерные сети подобных объектов, которые необходимо содержать в актуальном, надежном и безопасном состоянии. Среди таких сетей можно выделить систему электроснабжения, которая должна быть спроектирована или реконструирована с учетом категории надежности электропотребителя.

Объект исследования – главная вентиляторная установка участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск.

Предмет исследования – система электроснабжения главной вентиляторной установки.

Целью бакалаврской работы является реконструкция действующей системы электроснабжения для повышения надежности электроснабжения потребителей главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск.

Задачами данной ВКР являются:

- произвести расчет электрических нагрузок первичных групп электроприемников главной вентиляторной установки;
- сделать светотехнический расчет освещения, в том числе аварийного и рабочего освещения главной вентиляторной установки на различных уровнях и оценить в киловаттах мощность осветительной нагрузки с учетом применения светодиодных светильников;
- произвести расчет электрических нагрузок узлов электрической сети в соответствии с актуальной методикой расчета;
- выбрать мощности и количество трансформаторов КТП, питающей главную вентиляторную установку, трансформаторы выбрать с учетом применения компенсирующих устройств;
- произвести проверку необходимости компенсации реактивной мощности в сети;
- выбрать конструктивное исполнение электрической сети, марки проводов, кабелей, способов их прокладки;
- произвести расчет защитных аппаратов электрических приемников и электрических сетей;
- выбрать сечения проводов и жил кабелей для подключения электроприемников;
- выполнить электротехнические расчеты рабочего и аварийного освещения для выбора щитов освещения, кабелей и защитной аппаратуры;
- произвести расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания и проверить коммутационно-защитную аппаратуру по условиям устойчивости токам короткого замыкания;
- выполнить расчет стоимости реконструкции системы электроснабжения главной вентиляторной установки, учитывая стоимость кабельно-проводниковой продукции, распределительных пунктов, автоматических выключателей.

1 Характеристика объекта проектирования

Рудник «Таймырский» компании «Норникель» занимает первое место по объемам добычи богатой руды среди горных предприятий всего Заполярного филиала. При этом на его добычу приходится более 35% никеля от общего объема добычи всеми горными предприятиями «Норильского никеля», по меди - более 21%, кобальта - более 38%, металлов платиновой группы - более 15%. Рудник считается одним из самых глубоких на Евразийском континенте, добыча ведётся на глубине более 1500м, а в перспективе до 1850м.

В настоящее время рудник «Таймырский» ведет отработку центральной части Октябрьского месторождения сульфидных медно-никелевых руд. Руды здесь богатые и содержат никель, медь, кобальт, а также металлы платиновой группы. В настоящее время вскрытие рудного тела осуществляется шестью вертикальными стволами с поверхности земли, а также откаточными и закладочными горизонтами. Для добычи руды используются различные системы разработки, основной из которых является камерная система без доступа людей в очистное пространство.

Рассматриваемая главная вентиляторная установка построена на вентиляционном стволе ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск. ВС-6 предназначен для выдачи исходящей струи воздуха, спуска и подъема грузов и горной массы. Кроме того, он служит выходом на случай аварии.

Вентиляторная установка размещается на поверхности у устья герметически закрытого ствола ВС-6 и соединяется с ним подводным каналом. Последний состоит из прямого участка и ответвлений к рабочему и резервному вентиляторам. При работе вентиляторов реверсирование обеспечивается изменением положения ляд, при работе вентиляторов встречного вращения – изменением направления вращения рабочего колеса. Вентиляторы все время непрерывно действуют.

Проветривание рудника «Таймырский» осуществляется всасывающим способом по фланговой схеме. Главная вентиляторная установка участка ВС-6 рудника «Таймырский» имеет два агрегата (вентилятора) – рабочий и резервный, которые работают поочередно согласно графика. Каждая вентиляторная установка оборудована приборами контроля подачи (производительности) и давления (депрессии).

Вентиляционная схема проветривания рудника предусматривает возможность реверсирования воздушной струи в аварийных случаях. Объём воздуха, поступающего в рудник в реверсивном режиме проветривания, составляет не менее 60% его количества при нормальном режиме. Для надёжной и бесперебойной вентиляции нормальный, реверсивный и переходные режимы проветривания, а также контроль за работой вентиляторных установок осуществляются автоматически.

2 Характеристика действующей схемы электроснабжения объекта

Главная вентиляторная установка (ГВУ) проветривания рудника по бесперебойности электропитания относится к потребителям 1-й категории, перерыв в электроснабжении которых допускается на время срабатывания АВР. Все электроприемники являются трехфазными. Одни из них рассчитаны на напряжение 6 кВ (главные вентиляторы большой мощности), другие – на напряжение 380 В (более мелкие, вспомогательные двигатели).

Среди помещений ГВУ можно выделить: машинный зал, помещение ляд, технические помещения, электрощитовую, ПСУ, помещения для ТПД-1 и ТПД-2.

Перечень электрооборудования, расположенного на ГВУ, включает в себя: 2 вентилятора с высоковольтными двигателями типа АКС-17-76-12; 4 маслонасоса; 8 электроприводов ляд (дверей); мостовой кран с 4-мя электродвигателями; освещение (два щита, один ЩО-1 на машинный зал, другой, ЩО-2 – для вспомогательных помещений). Также имеются высоковольтные тиристорные преобразователи частоты ТПД-1 и ТПД-2 (типа КТЭ-1600/930), питаемые от разных секций РПЗ61 предприятия (рисунок 2.1). Они работают совместно с главными вентиляционными электродвигателями. Из схемы видно, что ячейки, защищающие высоковольтную нагрузку ГВУ, снабжены маломасляными выключателями, их в ходе реконструкции необходимо заменить на вакуумные напряжением 6 кВ.

Более подробные данные по электроприводам технологических механизмов и освещению представлены в таблице 2.1. Там же отображены сведения, показывающие подключение указанных механизмов к питающим шинам установки.

На рисунках 2.2-2.3 представлены планы ГВУ с силовыми и осветительными сетями соответственно.

На рисунках 2.4-2.5 представлены принципиальные схемы электроснабжения (соответственно СВП-3, агрегат 1 и СВП-3, агрегат 2). Из схем видно, что электроаппаратура, защищающая электроустановки ГВУ является устаревшей. Дело в том, что в схеме применены автоматические выключатели типов АЗ742, АП50Б, которые сняты с производства. Поэтому необходимо применение новых более надежных и современных защитных аппаратов.

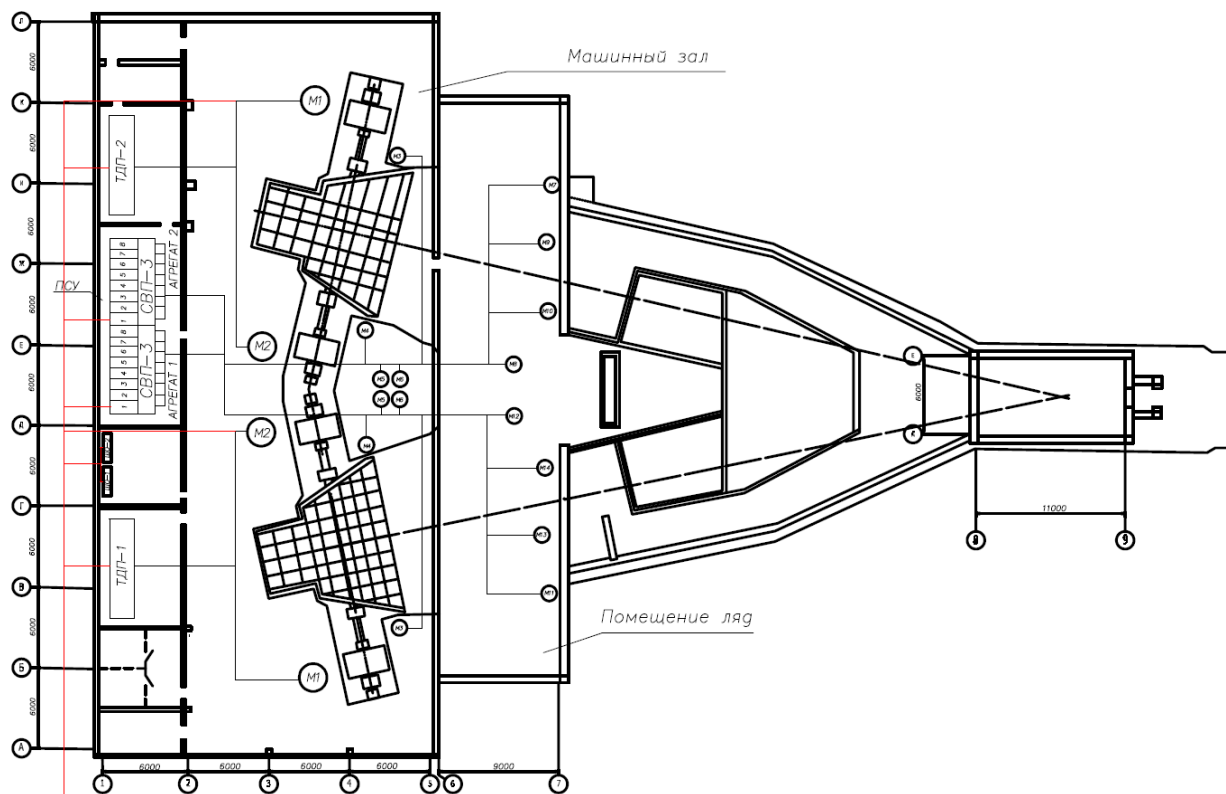
Также устарели кабельные линии, питающие электроприемники производственных механизмов. Поэтому необходимо рассмотреть более современные их типы для внедрения в рамках реконструкции схемы электроснабжения ответственного объекта по проветриванию ствола ВС-6 рудника.

Таблица 2.1 – Данные по электроприводам технологических механизмов и освещению

Номер		Механизмы		Технические данные					Дополнительные данные
По технологическому плану	По плану силовой сети	Наименование электроприемника	Количество	Количество на один механизм	Тип	Номинальная мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин	
1	М1, М2	Эл. двигатель вентилятора	4	2	АКС-17-76-12	3150	6000	495	РП361 (1 секц.- 2 двигат.; 2 секц. – 2 двигат.)
2	М5, М6	Эл. двигатель маслососа	4	2	4АХ90L4	2,2	380	1420	СВП-3 агрегат 1- 2 двигат., СВП-3 агрегат 2 -2 двигат.
3	М3, М4	Устройство сброса мощности	4	2	АИР71А2	0,75	380	2820	СВП-3 агрегат 1- 2 двигат., СВП-3 агрегат 2 -2 двигат.
4	М8, М11	Эл. двигатель ляды всасывающей правой	2	1	ВАО-52-6	7,5	380	970	СВП-3 агрегат 1- 1 двигат., СВП-3 агрегат 2 -1 двигат.
5	М7, М12	Эл. двигатель ляды всасывающей левой	2	1	ВАО-52-6	7,5	380	970	СВП-3 агрегат 1- 1 двигат., СВП-3 агрегат 2 -1 двигат.
6	М10, М13	Эл. двигатель ляды нагнетательной правой	2	1	ВАО-52-6	7,5	380	970	СВП-3 агрегат 1- 1 двигат., СВП-3 агрегат 2 -1 двигат.
7	М9, М14	Эл. двигатель ляды нагнетательной левой	2	1	ВАО-52-6	7,5	380	970	СВП-3 агрегат 1- 1 двигат., СВП-3 агрегат 2 -1 двигат.
8	15	Мостовой кран 50/12,5 т.	1	4	МТФ411-8У 4МТН225 МТФ211-6У МТФ111-6У	15 30 7,5 3,5	380	710 715 930 895	ТП 361, 2я - секция
9	ЩО-1	-	-	-	-	-	-	-	ТП 361, 1я - секция
10	ЩО-2	-	-	-	-	-	-	-	ТП 361, 2я - секция

Номер ячейки по плану силовой цепи	1	3	5	7	9	11	13	15	16	14	12	10	8	6	4	2	
Номер ячейки по периодической схеме																	
Номер схемы главных соединений																	
Наименование ячейки																	
Тип выключателя	ВМГЗ 10/1000																
Линейка выключателя	ПЗ-Ц																
Трансформатор																	
КТТ																800/5	
Реле МТЗ																	
Уставки реле МТЗ, I _з , А _л /I _н , с																	
Тип предохранителя																	
Номер кабельной линии по плану																	
Наименование электролинии	ВВОД-1	ТСН-2	ТСН-1	РЕЗЕРВ	Звдвигатр 1	ТПД-1	ТП-361	СР	СМВ	ТП-361	ТПД-2	Звдвигатр 2	РЕЗЕРВ	ТН-2с	ТСН-1	ВВОД-2	
Тип		АВ-0,4	НТМИ		АКС-17-76-12	КТЗ-1600/930			ВМГЗ 10/630		КТЗ-1600/930	АКС-17-76-12		НТМИ	АВ-0,4		
Установленная мощность, кВт					3200	938					938	3200					
Токовая/линейная, А					367/1425	1250					1250	367/1425					
Марка кабельной линии, сечение жил	ААШв 2(3х185)				ААШв 3х95	ААШв 3х95			ААШв 3х95	ААШв 3х95	ААШв 3х95	ААШв 3х95					ААШв 2(3х185)

Рисунок 2.1 – Схема электроснабжения РПЗ61, 6 кВ



Питание С РП-361, ТП-361

Рисунок 2.2 – План ГВУ с существующими силовыми сетями

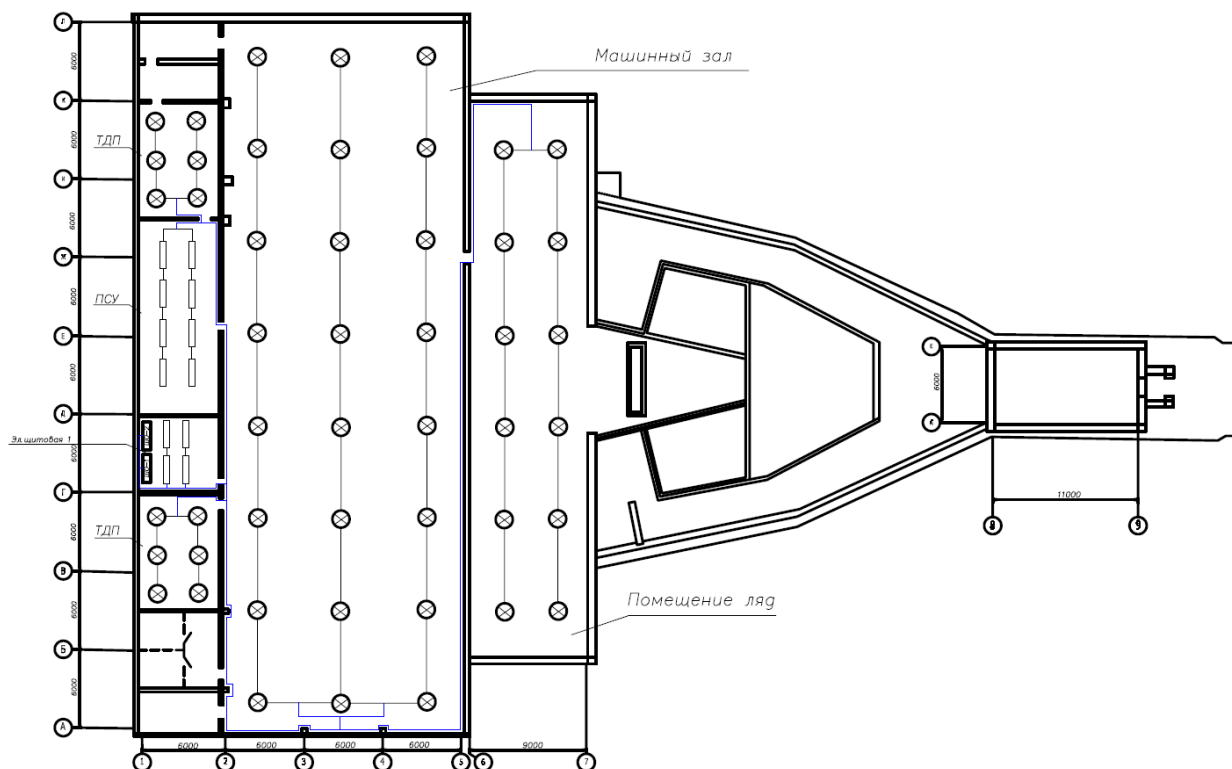


Рисунок 2.3 – План ГВУ с существующими осветительными сетями

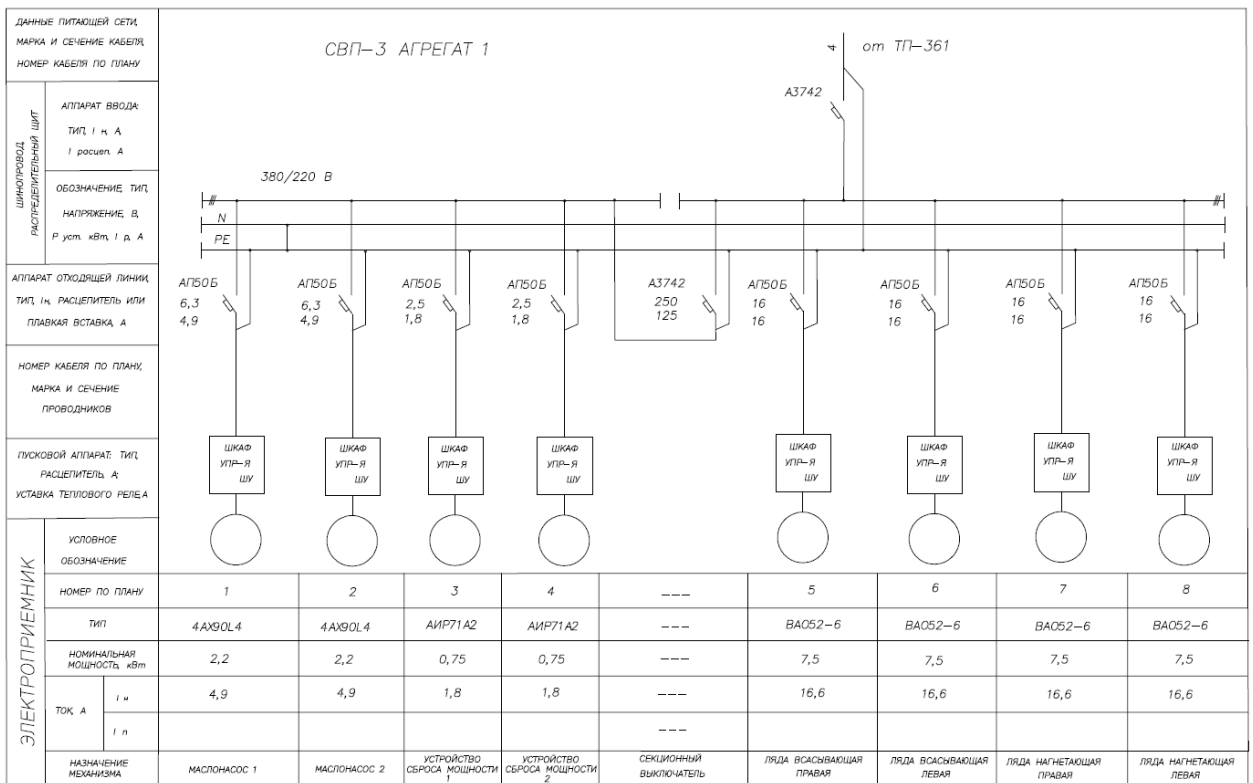


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема электроснабжения щита СВП-3, агрегат 1

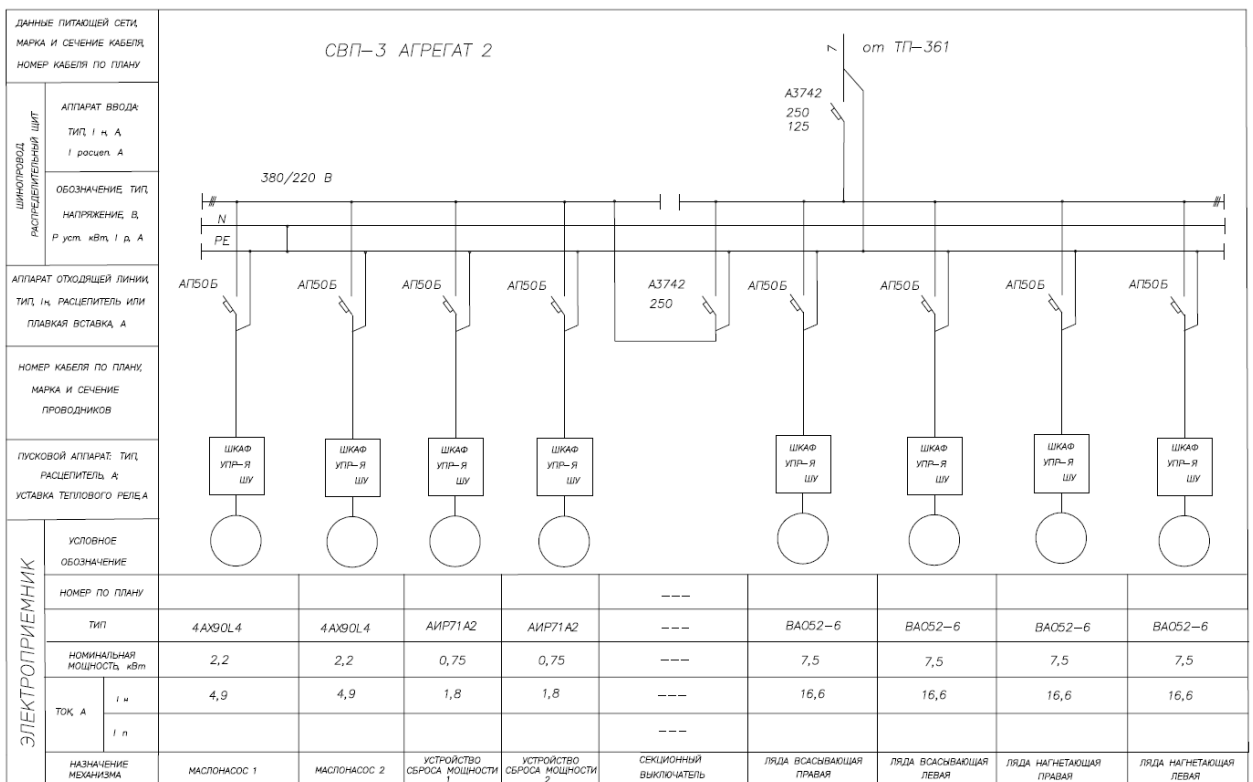


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема электроснабжения щита СВП-3, агрегат 2

3 Методика расчета электрических нагрузок промышленных объектов

Целью расчета электрических нагрузок является определение токов, протекающих через токонесущие элементы, с точки зрения их допустимости в условиях нагрева элементов. Расчет электрических нагрузок имеет решающее значение для уровня затрат в промышленных компаниях СЭС.

В условиях эксплуатации средняя нагрузка учитывается для заданного интервала времени, например, в течение одного цикла согласно показаниям счетчиков. Нагрузка в наиболее интенсивно используемый период времени приобретает актуальный смысл.

Номинальная нагрузка для допустимого нагрева - это длительная нагрузка с постоянным временем воздействия на элемент СЭС (КТП, ЛЭП и т.п.). Она соответствует ожидаемой изменяющейся нагрузке при самых значимых тепловых условиях: максимальной температуре нагрева проводников или тепловом износе изоляции.

Для практических расчетов в качестве расчетного значения используется интервал времени тридцать минут при максимальной нагрузке.

Электронагрузки предприятий в зависимости от экспертных предпочтений принято считать по одному из четырех стандартных методов:

- по методу расчетных коэффициентов (с применением специальных таблиц и эмпирических графиков);
- в соответствии с удельным потреблением энергии;
- методом коэффициента спроса,
- по удельной нагрузке на единицу площади помещения и других строительных единиц зданий.

Расчет электронагрузок в данной ВКР производится по методу расчетных коэффициентов в соответствии с РТМ 36.18.32.4 – 92 [9]. Этот метод представляется более точным, по сравнению с другими указанными методами. Данный метод целесообразно разработать в виде табличных форм Excel и вести автоматизированные вычисления.

Расчетная нагрузка узла СЭС, может включать в себя группы разнохарактерных электроприемников по режимам работы. В этой связи определяют нагрузки отдельных групп с учетом того, что максимумы выделенных групп электроприемников не совпадают [5]:

$$S_p = \sqrt{(\Sigma P_p^2 + \Sigma Q_p^2)} \cdot K_{p,m}, \quad (3.1)$$

где ΣP_p и ΣQ_p – нагрузки отдельных групп (реактивная составляющая и активная мощность) с учетом того, что максимумы выделенных групп электроприемников не совпадают;

$K_{p,m}$ - коэффициент разновременности.

В этом случае общая расчетная нагрузка в узле системы электроснабжения предприятия не должна быть меньше его нагрузки за среднезагруженную смену.

Немаловажным является документ НТП ЭПП-94 [5]. Этот документ включает в себя общие требования, руководство по делению потребителей электроэнергии по категориям, требования к выбору источников питания, руководство по выполнению схем распределения электроэнергии, методики расчета нагрузок, тока короткого замыкания, требования к автоматизированным схемам защиты, качеству электроэнергии, к внешним токоведущим сетям и другое.

Также при составлении проекта обязательно нужно соблюдать правила, содержащиеся в ПУЭ [7] и различных СП. Например, это СП 76.13330.2016 Электротехнические устройства, устанавливающий требования к производству электромонтажных и пусконаладочных работ; СП 52.13330.2016, устанавливающий требования к искусственному и естественному освещению различных, в том числе, и промышленных объектов [14].

С другой стороны, представленные выше документы – это лишь нормативные документы, основывающиеся на следующих основных нормативных правовых актах РФ [28], основанных на Конституции РФ. Среди них можно выделить Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» и Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности ...». Множество ГОСТов по электротехническим, кабельным и другим изделиям и электроустановкам, а также в области обеспечения электробезопасности различными видами защит используются при проектировании и реконструкции схем электроснабжения различных объектов.

Расчеты, как правило, начинаются с определения низковольтных нагрузок по объектам (цехам, зданиям, сооружениям и т.п.) предприятия. Для каждого такого объекта должны быть известны суммарные установленные мощности всех низковольтных электроприемников, определены по справочникам коэффициенты мощности и использования.

Согласно [4, 10, 15] производится расчет силовых электрических нагрузок ниже 1000 В методом расчетных коэффициентов K_p . Расчеты выполняются по форме Ф636-92 [10, 15], определяются соответствующие необходимые расчетные коэффициенты в источниках [1-3, 8, 9] и далее расчетные реактивные и активные нагрузки объектов.

Расчетная активная нагрузка группы силовых трехфазных электроприемников на всех ступенях питающих и распределительных сетей находится по формуле [4]:

$$P_p = K_p \cdot K_{и} \cdot P_n, \quad (3.2)$$

где K_p – коэффициент расчетной мощности активной нагрузки при длительности интервала осреднения 30 минут;

$K_{и}$ – групповой коэффициент использования;

P_n – номинальная активная мощность этой группы.

Определяются суммарные активные и реактивные нагрузки объектов предварительно без учета мощности освещения.

Расчетная реактивная нагрузка группы электроприемников принимается [4]:

при $n_{\text{Э}} \leq 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot P_H \cdot K_H \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (3.3)$$

при $n_{\text{Э}} > 10$

$$Q_p = P_H \cdot K_H \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.4)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности рассматриваемой группы электроприемников.

Полная расчетная нагрузка группы трехфазных электроприемников определяется выражением [4]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (3.5)$$

Расчетные кривые и таблицы для определения коэффициента расчетной мощности $K_p = f(n_{\text{Э}}, K_H)$ приводятся в РТМ 36.18.32.4-92 и второй редакции пособия к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» [10, 15].

Используя результаты расчета освещения по объектам предприятия определяются также суммарные активные и реактивные нагрузки объектов с учетом мощности освещения и затем с учетом коэффициента одновременности K_0 при определенном числе присоединений, шт., и средневзвешенном коэффициенте использования $K_{\text{И.ср.взв.}}$ определяется расчетная нагрузка на шинах НН ГПП или ЦРП предприятия. Учитываются также высоковольтные электроприемники, имеющиеся на предприятии (синхронные и асинхронные двигатели, электротехнологические установки и др.).

4 Расчет электрических нагрузок первичных групп электроприемников

Для осуществления данного расчета сформируем первичные группы электроприемников главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск. В качестве исходных данных для расчетов будем использовать технические характеристики электроприемников, представленные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические характеристики электроприемников главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск

№	Наименование ЭП	$P_{\text{ном}}$ кВт	ПВ, %	Ки	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Число фаз	U, В
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Эл. двигатель маслососа	2,2	100	0,6	0,8	0,75	3	380
2	Эл. двигатель маслососа	2,2	100	0,6	0,8	0,75	3	380
3	Эл. двигатель маслососа	2,2	100	0,6	0,8	0,75	3	380
4	Эл. двигатель маслососа	2,2	100	0,6	0,8	0,75	3	380
5	Устройство сброса мощности	0,75	100	0,6	0,76	0,86	3	380
6	Устройство сброса мощности	0,75	100	0,6	0,76	0,86	3	380
7	Устройство сброса мощности	0,75	100	0,6	0,76	0,86	3	380
8	Устройство сброса мощности	0,75	100	0,6	0,76	0,86	3	380
9	Эл. двигатель ляды всасывающей правой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	3	380
10	Эл. двигатель ляды всасывающей правой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	3	380
11	Эл. двигатель ляды всасывающей левой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	3	380
12	Эл. двигатель ляды всасывающей левой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	3	380
13	Эл. двигатель ляды нагнетательной правой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	3	380
14	Эл. двигатель ляды нагнетательной правой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	3	380
15	Эл. двигатель ляды нагнетательной левой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	3	380
16	Эл. двигатель ляды нагнетательной левой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	3	380
17	Мостовой кран 50/12,5 т.	56	40	0,15	0,8	0,75	3	380
18	Эл. двигатель вентилятора	3200	100	0,6	0,85	0,62	3	6000
19	Эл. двигатель вентилятора	3200	100	0,6	0,85	0,62	3	6000
20	Эл. двигатель вентилятора	3200	100	0,6	0,85	0,62	3	6000
21	Эл. двигатель вентилятора	3200	100	0,6	0,85	0,62	3	6000
22	Тиристорный преобразователь ТПД-1	938	100	0,7	0,7	1,02	3	6000
23	Тиристорный преобразователь ТПД-2	938	100	0,7	0,7	1,02	3	6000

Для электроустановок, работающих в длительном режиме [5, 6]:

$$P_{p1} = P_{\text{ном}}, \quad (4.1)$$

В соответствии с НТП ЭПП-94 [5] расчетная нагрузка 1УР принимается равной номинальной нагрузке для электроустановок, работающих в повторно-кратковременном режиме (в данном случае мостовой кран):

$$P_{p1} = P_{\text{ном}} \sqrt{\text{ПВ}}. \quad (4.2)$$

Реактивная мощность электроустановки определяется по выражению:

$$Q_{p1} = P_{p1} \operatorname{tg} \varphi = P_{p1} \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi)), \quad (4.3)$$

Полная мощность находится по выражению

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2}, \quad (4.4)$$

Расчетный ток

$$I_p = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} U_{ном}}, \quad (4.5)$$

Пусковой ток

$$I_{п} = K_{п} I_p, \quad (4.6)$$

где $K_{п}$ – кратность пускового тока [12].

Пример расчета по формулам (4.2) – (4.6) для ЭП №17 (кран мостовой):

$$P_{p1} = 56 \cdot \sqrt{0,4} = 35,42 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 35,42 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,8)) = 26,57 \text{ кВар};$$

$$S_{p1} = \sqrt{35,42^2 + 26,57^2} = 44,28 \text{ кВА.}$$

$$I_{p1} = \frac{44,28 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 67,27 \text{ А};$$

$$I_{п} = K_{п} \cdot I_{p1} = 3 \cdot 67,27 = 201,81 \text{ А.}$$

Для остальных электроприемников расчет электрических нагрузок первичных групп электроприемников главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск (таблица 4.2). Общая номинальная мощность электроприемников напряжением 0,38 кВ составляет 127,8 кВт.

Таблица 4.2 – Расчет низковольтных электронагрузок первичных групп электроприемников главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск

№	Наименование ЭП	P _{ном} кВт	ПВ, %	Kи	cosφ	tgφ	P _{p1} , кВт	Q _{p1} , кВар	S _{p1} , кВА	I _p , А	I _{пуск} , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Эл. двигатель маслонасоса	2,2	100	0,6	0,8	0,75	2,2	1,65	2,75	4,18	20,90
2	Эл. двигатель маслонасоса	2,2	100	0,6	0,8	0,75	2,2	1,65	2,75	4,18	20,90
3	Эл. двигатель маслонасоса	2,2	100	0,6	0,8	0,75	2,2	1,65	2,75	4,18	20,90
4	Эл. двигатель маслонасоса	2,2	100	0,6	0,8	0,75	2,2	1,65	2,75	4,18	20,90
5	Устройство сброса мощности	0,75	100	0,6	0,76	0,86	0,75	0,65	0,99	1,5	7,50
6	Устройство сброса мощности	0,75	100	0,6	0,76	0,86	0,75	0,65	0,99	1,5	7,50
7	Устройство сброса мощности	0,75	100	0,6	0,76	0,86	0,75	0,65	0,99	1,5	7,50
8	Устройство сброса мощности	0,75	100	0,6	0,76	0,86	0,75	0,65	0,99	1,5	7,50
9	Эл. двигатель ляды всасывающей правой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	7,5	4,65	8,82	13,41	67,05
10	Эл. двигатель ляды всасывающей правой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	7,5	4,65	8,82	13,41	67,05
11	Эл. двигатель ляды всасывающей левой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	7,5	4,65	8,82	13,41	67,05
12	Эл. двигатель ляды всасывающей левой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	7,5	4,65	8,82	13,41	67,05
13	Эл. двигатель ляды нагнетательной правой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	7,5	4,65	8,82	13,41	67,05
14	Эл. двигатель ляды нагнетательной правой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	7,5	4,65	8,82	13,41	67,05
15	Эл. двигатель ляды нагнетательной левой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	7,5	4,65	8,82	13,41	67,05
16	Эл. двигатель ляды нагнетательной левой	7,5	100	0,6	0,85	0,62	7,5	4,65	8,82	13,41	67,05
17	Мостовой кран 50/12,5 т.	56	40	0,15	0,8	0,75	35,42	26,57	44,28	67,27	201,81

По аналогии произведем расчеты мощностей и токов для высоковольтных электроприемников напряжением 6 кВ: тиристорных преобразователей и асинхронных электродвигателей. Для этого также воспользуемся формулами (4.2) – (4.6).

Расчет для асинхронных электродвигателей 6 кВ:

$$P_{p1} = P_{ном} = 3200 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 3200 \cdot \text{tg}(\arccos(0,85)) = 1983,18 \text{ кВар};$$

$$S_{p1} = \sqrt{3200^2 + 1983,18^2} = 3764,71 \text{ кВА}.$$

$$I_{p1} = \frac{3764,71 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 362,26 \text{ А};$$

$$I_{II} = K_{II} \cdot I_{p1} = 5 \cdot 362,26 = 1811,3 \text{ А}.$$

Расчет для тиристорных преобразователей ТПД-1 и ТПД-2:

$$P_{p1} = P_{ном} = 938 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 938 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,7)) = 956,95 \text{ кВар};$$

$$S_{p1} = \sqrt{938^2 + 956,95^2} = 1340 \text{ кВА.}$$

$$I_{p1} = \frac{1340 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 128,94 \text{ А};$$

$$I_{II} = K_{II} \cdot I_{p1} = 1 \cdot 128,94 = 128,94 \text{ А.}$$

Расстановка оборудования с указанием номинальных мощностей и прокладкой трасс кабельных линий показана на рисунке 4.1.

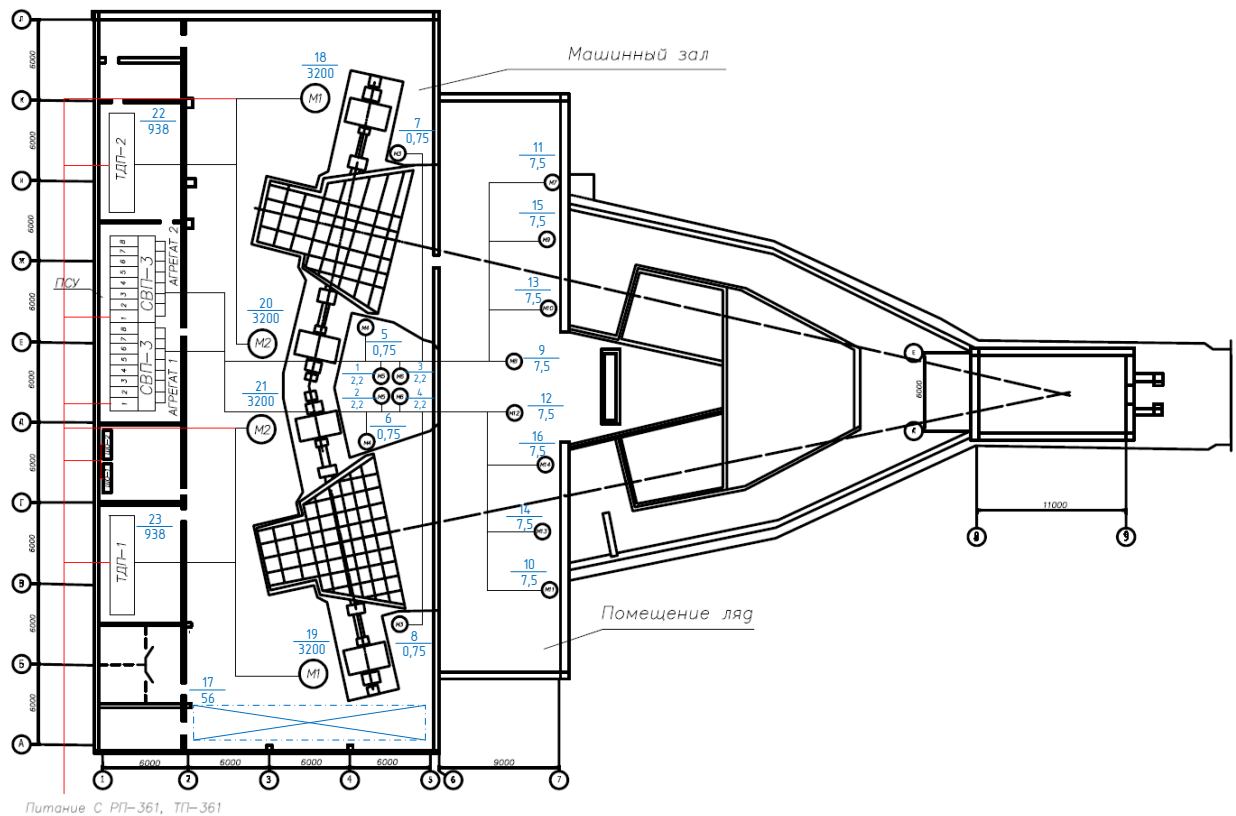


Рисунок 4.1 – Расстановка оборудования с указанием номинальных мощностей технологических механизмов ГВУ и прокладкой трасс кабельных линий

5 Светотехнический расчет освещения

5.1 Расчет рабочего освещения

Для рабочего и аварийного освещения нужно применить современные светодиодные светильники. Поскольку это главная вентиляторная установка участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск, то необходимо предусмотреть светильники защищенного исполнения, как для рабочего, так и для аварийного освещения различных помещений.

Рассчитаем подробно освещение для машинного зала. Его размеры составляют 54х18х9.

Размещение светильников определяется следующими размерами, показанными на рисунке 5.1.

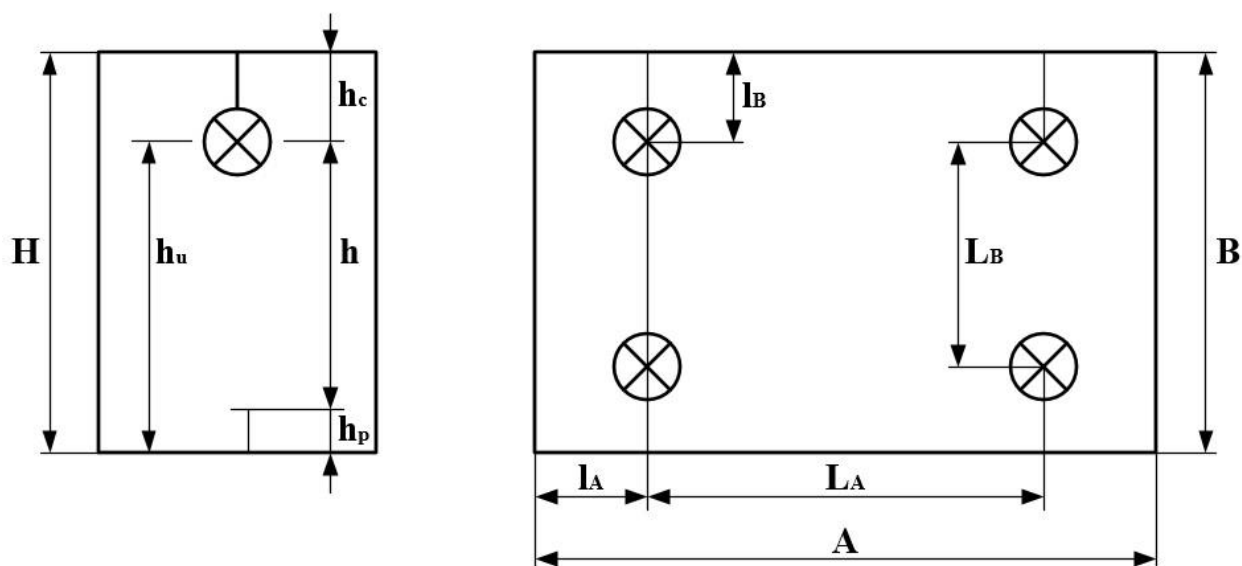


Рисунок 5.1 – Размещение светильников:

h_c – высота подвески светильников, (м); h_p – высота рабочей поверхности, (м); h_u – высота подвеса светильников над полом, (м); h – расчетная высота, (м); H – высота здания, (м); l_A – расстояние от стенки светильников в поперечной оси, (м); l_B – расстояние от стенки до светильников в продольной оси, (м); L_A – расстояние между светильниками в продольной оси, (м); L_B – расстояние между светильниками в поперечной оси, (м); A – длина помещения, (м); B – ширина помещения, (м)

Согласно ПУЭ принимаем высоту рабочей поверхности $h_p = 0,8$ (м), а высоту подвеса $h_c = 1,2$ (м).

Высота подвеса светильников над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_p - h_c = 9 - 0,8 - 1,2 = 7 \text{ (м)}.$$

Расстояние между светильниками в продольной оси:

$$L_A = \lambda_{\text{э}} * h,$$

где $\lambda_{\text{э}}$ – отношение расстояния между светильниками или рядами светильников.

Для общего освещения производственных помещений применяем светодиодные светильники.

Принимаем $\lambda_{\text{э}} = 0,9-1,0$ [12], для светильников с глубокой силой света. Тогда расстояние между светильниками в ряду.

$$L_A = 0,9 * 7 = 6,3 \text{ (м)}.$$

В ряду можно разместить восемь светильников ($n = 8$), тогда расстояние от стены до светильника:

$$l_A = \frac{A - L_A * (n - 1)}{2} = \frac{54 - 6,3 * (8 - 1)}{2} = 4,95 \text{ (м)}.$$

Принимаем число рядов равное трем ($m = 3$), тогда $L_B = 5$ (м), и расстояние от стены до светильника:

$$l_B = \frac{B - L_B * (m - 1)}{2} = \frac{18 - 5 * (3 - 1)}{2} = 4 \text{ (м)}.$$

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{6,3}{5} = 1,26 < 1,5,$$

где 1,5 – это рекомендованное число, за которое не должно выходить отношение L_A/L_B .

Общее количество светильников в машинном зале:

$$N = n * m = 8 * 3 = 24 \text{ (шт)}.$$

Размещение светильников рабочего освещения представлено на рисунке 5.1.

Расчет освещения выполним методом коэффициента использования светового потока. При расчете по этому методу световой поток ламп в каждом светильнике, необходимый для создания заданной минимальной освещенности, определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n * K_{\text{зап}} * F * Z}{N * \eta},$$

где E_n – номинальная освещенность, (лк); $K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса; F – площадь помещения, (м^2); Z – отношение средней освещенности к мини-

мальной, принимаем $z = 1,15$; N – число светильников; η – коэффициент использования светового потока источника света.

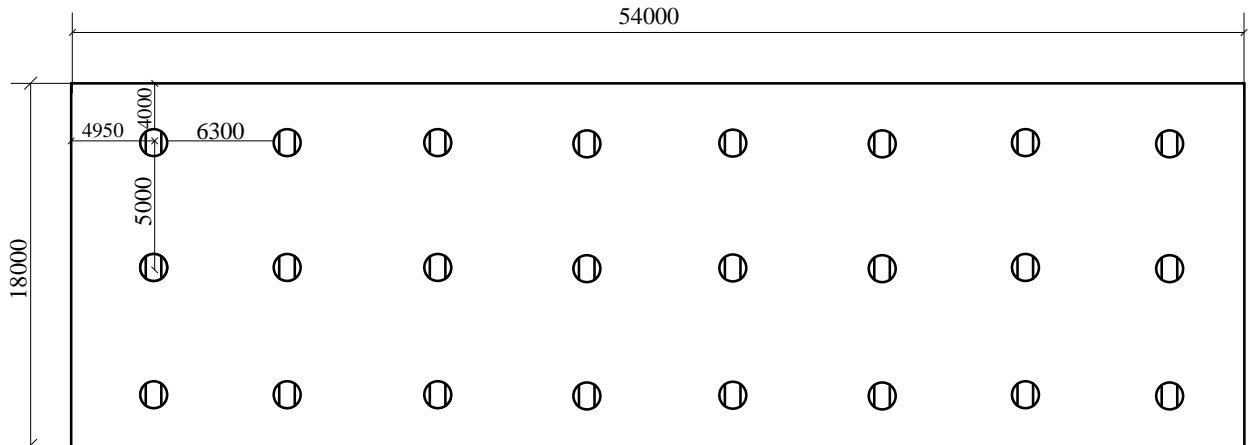


Рисунок 5.1 – Размещение светильников рабочего освещения

По таблице 5.1 [5] принимаем коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка $\rho_{\text{п}} = 50\%$; стен $\rho_{\text{с}} = 30\%$; пола $\rho_{\text{р}} = 10\%$.

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

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{54 * 18}{7 * (54 + 18)} = 1,93.$$

Тогда по таблице 5.9 [5] коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,6.$$

По таблице 4.4 [5] принимаем: освещенность $E_{\text{н}} = 200$ (лк); коэффициент запаса $K_{\text{зап}} = 1,5$. Световой поток одной лампы составит:

$$\Phi = \frac{200 * 1,5 * (54 * 18) * 1,15}{24 * 0,6} = 25875 \text{ (лм)}.$$

По значению Φ выбирается стандартная лампа так, чтобы ее поток отличался от расчетного значения Φ на $-10 \div +10\%$.

Подбираем светодиодный светильник типа ДСП 3011 PRO мощностью 200 Вт со световым потоком $\Phi_{\text{л}} = 28000$ (лм). Отклонение светового потока:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{л}} - \Phi}{\Phi} = \frac{28000 - 25875}{25875} * 100\% = 8,2\%.$$

Различие между $\Phi_{\text{л}}$ и Φ – (8,2) %, что допустимо.

5.2 Расчет аварийного освещения

Аварийное освещение необходимо в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход в темноте опасен из-за продолжения работы оборудования.

Расчет аварийного освещения производим по аналогии с расчетом рабочего освещения.

Высота подвеса светильников над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_p - h_c = 9 - 0,8 - 1,2 = 7 \text{ (м)}.$$

Для аварийного освещения применяются энергосберегающие лампы.

Для общего освещения производственных помещений применяем светодиодные светильники.

Принимаем $\lambda_3 = 0,9-1,0$ [12], для светильников с глубокой силой света. Тогда расстояние между светильниками в ряду.

$$L_A = 0,9 * 7 = 6,3 \text{ (м)}.$$

В ряду можно разместить восемь светильников ($n = 8$), тогда расстояние от стены до светильника:

$$l_A = \frac{A - L_A * (n - 1)}{2} = \frac{54 - 6,3 * (8 - 1)}{2} = 4,95 \text{ (м)}.$$

Принимаем число рядов равное трем ($m = 3$), тогда $L_B = 5,5$ (м), и расстояние от стены до светильника:

$$l_B = \frac{B - L_B * (m - 1)}{2} = \frac{18 - 5,5 * (3 - 1)}{2} = 3,5 \text{ (м)}.$$

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{6,3}{5,5} = 1,15 < 1,5.$$

Общее количество аварийных светильников в машинном зале:

$$N = n * m = 8 * 3 = 24 \text{ (шт)}.$$

Размещение светильников аварийного освещения представлено на рисунке 5.2.

По таблице 5.1 [12] принимаем коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка $\rho_{\text{п}} = 50 \%$; стен $\rho_{\text{с}} = 30\%$; пола $\rho_{\text{р}} = 10\%$.

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

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{54 * 18}{7 * (54 + 18)} = 1,93.$$

Тогда по таблице 5.9 [5] коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,6.$$

Аварийная норма освещенности для машинного зала принимается:

$$E_з = 0,05 * E_н = 0,05 * 200 = 10 \text{ (лк)}.$$

Световой поток одной лампы составит:

$$\Phi = \frac{10 * 1,5 * (54 * 18) * 1,15}{24 * 0,6} = 1294 \text{ (лм)}.$$

По значению Φ выбирается стандартная лампа так, чтобы ее поток отличался от расчетного значения Φ на $-10 \div +10 \%$.

Подбираем светодиодный светильник типа ТИТАН 16 LED мощностью 16 Вт со световым потоком $\Phi_л = 1400$ (лм). Отклонение светового потока:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_л - \Phi}{\Phi} = \frac{1400 - 1294}{1294} * 100 \% = 8,19 \%.$$

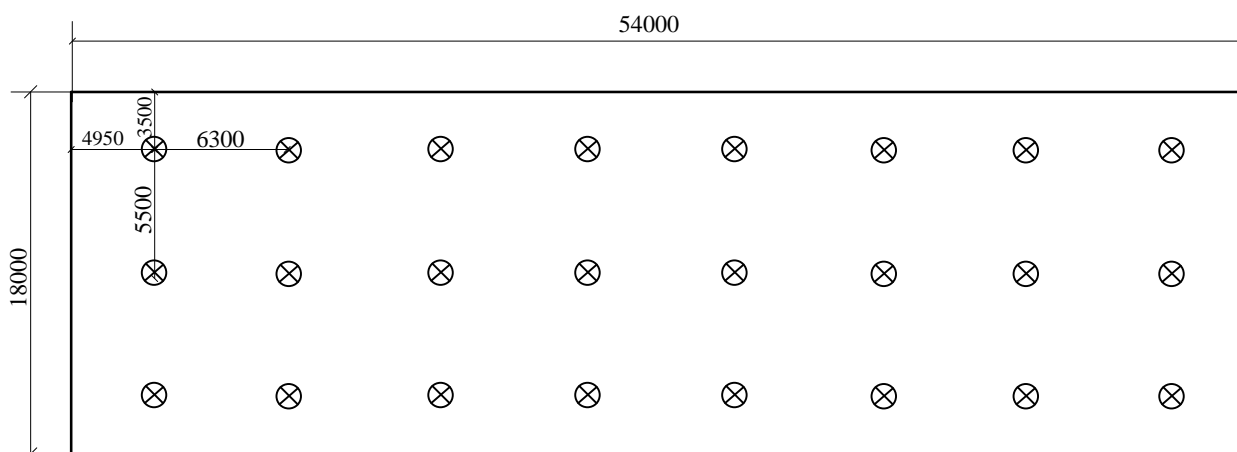


Рисунок 5.2 – Размещение светильников аварийного освещения

Расчеты для рабочего и аварийного освещения для остальных помещений сведем в таблицы 5.1-5.2. Для рабочего освещения других помещений, за исключением помещения ляд, применяем светильники светодиодный ДВО-76w LED, световой поток 7200 Лм, opal-sand IP54 Alumogips. Размещение светильников представлено на соответствующем чертеже графической части.

Таблица 5.1 – Расчеты рабочего освещения для помещений главной вентиляторной установки

№ помещ	Наименование	Ен, лк	A	B	h	i	F, м2	Кзап	Z	η, о.е.	Φ, Лм	N	Число светильников в ряду	Число рядов	Nфакт, шт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Машинный зал	200	54	18	9,00	1,50	972	1,5	1,15	0,60	28000	24	8	3	24
2	Помещение ляд	200	42	9	4,50	1,65	378	1,5	1,15	0,48	28000	12	6	2	12
3	Техническое помещение	100	6	3	4,50	0,44	18	1,5	1,15	0,20	7200	2	2	1	2
4	Техническое помещение	100	6	3	4,50	0,44	18	1,5	1,15	0,20	7200	2	2	1	2
5	Помещение ТПД-1	75	9	6	4,50	0,80	54	1,5	1,15	0,38	7200	2	2	1	2
6	ПСУ	100	15	6	4,50	0,95	90	1,5	1,15	0,45	7200	4	4	1	4
7	Электрощитовая	75	6	6	4,50	0,67	36	1,5	1,15	0,30	7200	2	2	1	2
8	Помещение ТПД-2	75	9	6	4,50	0,80	54	1,5	1,15	0,38	7200	2	2	1	2
9	Техническое помещение	100	6	6	4,50	0,67	36	1,5	1,15	0,30	7200	2	2	1	2
10	Техническое помещение	100	6	3	4,50	0,44	18	1,5	1,15	0,20	7200	2	2	1	2

Таблица 5.2 – Расчеты аварийного освещения для помещений главной вентиляторной установки

№ помещ	Наименование	Ен, лк	A	B	h	i	F, м2	Кзап	Z	η, о.е.	Φ, Лм	N	Число светильников в ряду	Число рядов	Nфакт, шт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Машинный зал	10	54	18	9,00	1,50	972	1,5	1,15	0,60	1400	24	8	3	24
2	Помещение ляд	10	42	9	4,50	1,65	378	1,5	1,15	0,48	1400	12	6	2	12
3	Техническое помещение	5	6	3	4,50	0,44	18	1,5	1,15	0,20	1400	1	1	1	1
4	Техническое помещение	5	6	3	4,50	0,44	18	1,5	1,15	0,20	1400	1	1	1	1
5	Помещение ТПД-1	3,75	9	6	4,50	0,80	54	1,5	1,15	0,38	1400	1	1	1	1
6	ПСУ	5	15	6	4,50	0,95	90	1,5	1,15	0,45	1400	1	1	1	1
7	Электрощитовая	3,75	6	6	4,50	0,67	36	1,5	1,15	0,30	1400	1	1	1	1
8	Помещение ТПД-2	3,75	9	6	4,50	0,80	54	1,5	1,15	0,38	1400	1	1	1	1
9	Техническое помещение	5	6	6	4,50	0,67	36	1,5	1,15	0,30	1400	1	1	1	1
10	Техническое помещение	5	6	3	4,50	0,44	18	1,5	1,15	0,20	1400	1	1	1	1

5.3 Мощность осветительной нагрузки

Расчет мощности освещения производим методом коэффициента спроса. Расчетная активная мощность осветительной нагрузки:

$$P_{\text{расч.о}} = N * P_{\text{ном}} * K_c * K_{\text{пот}},$$

где N – количество ламп; $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность лампы, (кВт); K_c – коэффициент спроса осветительной нагрузки, принимаем $K_c = 0,95$, для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов; $K_{\text{пот}}$ – коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре.

Для светодиодных светильников принимается $K_{\text{пот}} = 1,0$; $\cos \varphi_{\text{сл}} = 0,95$ ($\text{tg} \varphi_{\text{сл}} = 0,33$).

$$P_{\text{расч.о}} = 24 * 0,2 * 0,95 * 1,0 = 4,56 \text{ (кВт)}.$$

Расчетная реактивная мощность осветительной нагрузки:

$$Q_{\text{расч.о}} = P_{\text{расч.о}} * \text{tg} \varphi_{\text{сл}} = 4,56 * 0,33 = 1,5 \text{ (кВар)}.$$

Полная мощность осветительной нагрузки:

$$S_{\text{расч.о}} = \sqrt{P_{\text{расч.о}}^2 + Q_{\text{расч.о}}^2} = \sqrt{4,56^2 + 1,5^2} = 4,8 \text{ (кВА)}.$$

Аналогично находим мощность рабочего освещения для остальных помещений (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Расчет мощности рабочего освещения для остальных помещений

Номер по плану	Наименование помещения	N	$P_{\text{ном}}$, кВт	K_c	$K_{\text{ПРА}}$	$P_{\text{осв}}$, кВт	$\cos \varphi$	$\text{tg} \varphi$	$Q_{\text{осв}}$, кВт	$S_{\text{осв}}$, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Машинный зал	24	0,2	0,95	1	4,56	0,95	0,33	1,5	4,8
2	Помещение ляд	12	0,2	0,95	1	2,28	0,95	0,33	0,75	2,4
3	Техническое помещение	2	0,06	0,8	1	0,096	0,95	0,33	0,03	0,1
4	Техническое помещение	2	0,06	0,8	1	0,096	0,95	0,33	0,03	0,1
5	Помещение ТПД-1	2	0,06	0,6	1	0,072	0,95	0,33	0,02	0,07
6	ПСУ	4	0,06	0,6	1	0,144	0,95	0,33	0,05	0,15
7	Электрощитовая	2	0,06	0,6	1	0,072	0,95	0,33	0,02	0,07
8	Помещение ТПД-2	2	0,06	0,6	1	0,072	0,95	0,33	0,02	0,07
9	Техническое помещение	2	0,06	0,8	1	0,096	0,95	0,33	0,03	0,1
10	Техническое помещение	2	0,06	0,8	1	0,096	0,95	0,33	0,03	0,1
ИТОГО						7,584			2,48	7,98

6 Расчет электрических нагрузок узлов электрической сети

В соответствии с РТМ 36.18.32.4-92 [9] произведем все необходимые расчеты для узлов второго уровня и для главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» в целом.

Результат расчета электрических нагрузок в целом по главной вентиляторной установке представлен в таблице 6.1, а по второму уровню – в таблице 6.2. При этом применяем распределение электроэнергии по главной вентиляторной установке с помощью распределительных силовых пунктов. На рисунке 4.1 выше представлено данное распределение электроэнергии по главной вентиляторной установке, где находится технологическое оборудование.

Таблица 6.1 – Расчет низковольтной электрической нагрузки по всей главной вентиляторной установке

Исходные данные																
по заданию технологов																
Наименование ЭП	Количество ЭП	Номинальная (установленная) мощность, кВт		по справочным данным				Расчетные величины			Эффективное число ЭП, п.	Коэффициент расчетной нагрузки К _р	Расчетная мощность			Расчетный ток I _р , А
		Одного ЭП Р _н	Общая Р _н =nR _н	Коэффициент использования, Кл	cosφ	tgφ	К _в Р _н , кВт	К _в Р _н tgφ, кВт	п ² _н	Р _р , кВт			Q _р , кВт	S _р , кВА		
1	2	3	4	5	6			7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Эл. двигатель маслонасоса	1	2,2	2,2	0,6	0,8	0,75	1,32	0,99	4,84						
2	Эл. двигатель маслонасоса	1	2,2	2,2	0,6	0,8	0,75	1,32	0,99	4,84						
3	Эл. двигатель маслонасоса	1	2,2	2,2	0,6	0,8	0,75	1,32	0,99	4,84						
4	Эл. двигатель маслонасоса	1	2,2	2,2	0,6	0,8	0,75	1,32	0,99	4,84						
5	Устройство сброса мощности	1	0,75	0,75	0,6	0,76	0,86	0,45	0,39	0,5625						
6	Устройство сброса мощности	1	0,75	0,75	0,6	0,76	0,86	0,45	0,39	0,5625						
7	Устройство сброса мощности	1	0,75	0,75	0,6	0,76	0,86	0,45	0,39	0,5625						
8	Устройство сброса мощности	1	0,75	0,75	0,6	0,76	0,86	0,45	0,39	0,5625						
9	Эл. двигатель ляды всасывающей правой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
10	Эл. двигатель ляды всасывающей правой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
11	Эл. двигатель ляды всасывающей левой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
12	Эл. двигатель ляды всасывающей левой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
13	Эл. двигатель ляды нагнетательной правой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
14	Эл. двигатель ляды нагнетательной правой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
15	Эл. двигатель ляды нагнетательной левой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
16	Эл. двигатель ляды нагнетательной левой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
17	Мостовой кран 50/12,5 т.	1	56	56	0,15	0,8	0,75	8,4	6,3	3136						
	ИТОГО СИЛОВАЯ НАГРУЗКА	17		127,8	0,4	0,83	0,67	51,12	34,14	3607,61	5	0,98	50,1	33,57	60,31	91,63
	ОСВЕЩЕНИЕ												7,584	2,48	7,98	12,12
	ВСЕГО												57,684	36,05	68,02	103,35

Таблица 6.2 – Расчет низковольтных нагрузок узлов второго уровня (силовых пунктов СП)

Исходные данные																
по заданию технологов																
Наименование ЭП	Количество ЭП.	Номинальная, (установленная) мощность, кВт		по справочным данным			Расчетные величины			Эффективное число ЭП, п.	Коэффициент расчетной нагрузки Кр	Расчетная мощность			Расчетный ток Iр, А	
		Одного ЭП P _н	Общая P _н =np _н	Коэффициент использования, Ки	cosφ	tgφ	K _н P _н , кВт	K _н P _н tgφ, кВт	np ² _н			P _р , кВт	Q _р , кВт	S _р , кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
СП-1																
1	Эл. двигатель маслонасоса	1	2,2	2,2	0,6	0,8	0,75	1,32	0,99	4,84						
3	Эл. двигатель маслонасоса	1	2,2	2,2	0,6	0,8	0,75	1,32	0,99	4,84						
5	Устройство сброса мощности	1	0,75	0,75	0,6	0,76	0,86	0,45	0,39	0,5625						
7	Устройство сброса мощности	1	0,75	0,75	0,6	0,76	0,86	0,45	0,39	0,5625						
9	Эл. двигатель ляды всасывающей правой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
11	Эл. двигатель ляды всасывающей левой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
13	Эл. двигатель ляды нагнетательной правой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
15	Эл. двигатель ляды нагнетательной левой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
	ИТОГО	8		35,9	0,6	0,84	0,65	21,54	13,92	235,805	5	1,08	23,26	16,63	28,59	43,44
СП-2																
2	Эл. двигатель маслонасоса	1	2,2	2,2	0,6	0,8	0,75	1,32	0,99	4,84						
4	Эл. двигатель маслонасоса	1	2,2	2,2	0,6	0,8	0,75	1,32	0,99	4,84						
6	Устройство сброса мощности	1	0,75	0,75	0,6	0,76	0,86	0,45	0,39	0,5625						
8	Устройство сброса мощности	1	0,75	0,75	0,6	0,76	0,86	0,45	0,39	0,5625						
10	Эл. двигатель ляды всасывающей правой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
12	Эл. двигатель ляды всасывающей левой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
14	Эл. двигатель ляды нагнетательной правой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
16	Эл. двигатель ляды нагнетательной левой	1	7,5	7,5	0,6	0,85	0,62	4,5	2,79	56,25						
	ИТОГО	8		35,9	0,6	0,84	0,65	21,54	13,92	235,805	5	1,08	23,26	16,63	28,59	43,44

Мостовой кран (самый мощный низковольтный электроприемник большой мощности) запитаем отдельной линией от КТП.

ТПД-1 и ТПД-2, а также главные электродвигатели вентиляторов (высоковольтные электроприемники 6 кВ) запитываются отдельными линиями от РП 6 кВ (РП361) предприятия.

7 Выбор мощностей и количества трансформаторов. Проверка необходимости компенсации реактивной мощности в сети

Определим суммарную низковольтную активную мощность главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск, которая в соответствии с [1] включает в себя расчетную мощность силовой нагрузки, расчетную мощность осветительной нагрузки и потери мощности в линиях на низкой стороне:

$$P_p = P_p + P_{po} + \Delta P, \quad (7.1)$$

где $\Delta P = 0,034 * (P_p + P_{po})$ – потери в сети 0,4 кВ [5, 9].

Определим суммарную реактивную мощность главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск:

$$Q_p = Q_p + Q_{po}, \quad (7.2)$$

Суммарная полная мощность:

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

Результаты расчетов занесем в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Расчет мощностей на III-ем уровне электроснабжения

Наименование	Коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\varphi$	Расчетная нагрузка			Количество и мощность трансформ. шт., кВА
		кВт	кВАр	кВА	
		P_p	Q_p	S_p	
1	2	3	4	5	6
Силовая нагрузка 0,4 кВ	0,67	50,1	33,57	60,31	
Осветительная нагрузка	0,33	7,584	2,48	7,98	
Итого на стороне 0,4 кВ без учета потерь в сети 0,4 кВ	0,63	57,68	36,05	68,02	
Потери в сети 0,4 кВ		1,96			
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом потерь в сети 0,4 кВ	0,6	59,64	36,05	69,69	2*ТМЗ-63/10

Если известна расчетная мощность объекта проектирования P_p и коэффициент допустимой перегрузки трансформатора, то можно определить расчетную номинальную мощность трансформатора по формуле [1], кВА:

$$S_{H.T.} = \frac{P_p}{\beta_{m.d}}, \quad (7.3)$$

где P_p – расчетная низковольтная нагрузка главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск.

$\beta_{m.d}$ – коэффициент допустимой перегрузки трансформаторов.

Тогда по формуле (7.3) находим:

$$S_{H.T.} = \frac{59,64}{1,4} = 42,6 \text{ кВА.}$$

Предварительно по расчетной нагрузке выбираем КТП-2х63/6/0,4 (комплектная трансформаторная подстанция, с установкой двух трансформаторов мощностью 63 кВА; первичное напряжение 6 кВ, вторичное 0,4 кВ) [11]. Каталожные данные трансформаторов приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Каталожные данные трансформаторов КТП

$S_{\text{ном.т.}}$, кВА	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	U_k , %	I_x , %
63	0,26	1,28	4,5	2,8

Наибольшая реактивная мощность Q_1 , которая может быть передана в сеть напряжением до 1 кВ из сети 6 кВ без увеличения числа трансформаторов (для трансформаторов масляных и заполненных негорючей жидкостью) [1] определяется как

$$Q_1 = \sqrt{(1,1 \cdot N \cdot \beta_m \cdot S_{\text{н.тр.}})^2 - P_p^2}. \quad (7.4)$$

$$Q_1 = \sqrt{(1,1 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 63)^2 - 59,64^2} = 76,52 \text{ кВАр.}$$

Определяем мощность КУ на напряжение 0,4 кВ:

$$Q_{\text{КУ}} = Q_p - Q_1 = 36,05 - 76,52 = -40,47 \text{ кВАр.}$$

Исходя из этих соображений, поскольку мощность компенсирующих устройств получилась меньше нуля, то не требуется установка КУ.

Потери мощности в трансформаторах двухтрансформаторной КТП можно определить по выражениям:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} + \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{n} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{\text{ном}}} \right)^2, \quad (7.4)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n \cdot \frac{I_{\text{xx}} \cdot S_{\text{ном}}}{100} + \frac{u_{\text{кз}} \cdot S_p^2}{n \cdot 100 \cdot S_{\text{ном}}}, \quad (7.5)$$

где n – количество трансформаторов;

ΔP_{xx} – потери холостого хода, (кВт);

$\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания, (кВт);

I_{xx} – ток холостого хода, %;

$u_{кз}$ – напряжение короткого замыкания, %.

С учетом потерь в трансформаторах и расчетной величины мощности компенсирующих устройств сформируем таблицу 7.3, с целью вычисления коэффициента реактивной мощности на стороне ВН (6 кВ) трансформаторов.

Экономическое значение коэффициента реактивной мощности в часы максимума нагрузки при напряжении 6-20 кВ составляет 0,4 (Приказ Министерства промышленности и энергетики РФ от 23 июня 2015 г. N 380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии»).

Таблица 7.3 – Расчетная нагрузка на высокой стороне трансформаторов

Наименование	Коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\varphi$	Расчетная нагрузка			Количество и мощность трансформ. шт., кВА
		кВт	кВАр	кВА	
		P_p	Q_p	S_p	
1	2	3	4	5	6
Силовая нагрузка 0,4 кВ	0,67	50,1	33,57	60,31	
Осветительная нагрузка	0,33	7,584	2,48	7,98	
Итого на стороне 0,4 кВ без учета потерь в сети 0,4 кВ	0,63	57,68	36,05	68,02	
Потери в сети 0,4 кВ		1,96			
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом потерь в сети 0,4 кВ	0,6	59,64	36,05	69,69	2*ТМЗ-63/10
Мощность КУ в сети 0,4 кВ			0		
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом КУ	0,6	59,64	36,05	69,69	
Потери в трансформаторах		1,3	5,26		
Итого на стороне ВН 10 кВ	0,68	60,94	41,31	73,62	

В нашем случае коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\varphi = 0,68$ (таблица 7.3), поэтому для обеспечения надлежащего качества электроэнергии и выполнения договорных условий необходимы КУ. Подбираем КУ так, чтобы добиться на высокой стороне $\text{tg}\varphi$ менее 0,4.

Результирующие нагрузки трансформаторной подстанции рекомендуется заносить в формуляр Ф202-90 [6], который составляется с учетом полученных результатов расчетов (таблица 7.4).

Таблица 7.4 – Результирующие нагрузки трансформаторной подстанции

Наименование	Коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\varphi$	Расчетная нагрузка			Количество и мощность трансформ. шт., кВА
		кВт	кВАр	кВА	
		P_p	Q_p	S_p	
1	2	3	4	5	6
Силовая нагрузка 0,4 кВ	0,67	50,1	33,57	60,31	
Осветительная нагрузка	0,33	7,584	2,48	7,98	
Итого на стороне 0,4 кВ без учета потерь в сети 0,4 кВ	0,63	57,68	36,05	68,02	
Потери в сети 0,4 кВ		1,96			
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом потерь в сети 0,4 кВ	0,6	59,64	36,05	69,69	2*ТМЗ-63/10
Мощность КУ в сети 0,4 кВ с учетом выполнения предельного $\text{tg}\varphi$			-20		2*АУКРМ-ЭМ 0,4-10-5
Итого на стороне 0,4 кВ с учетом КУ	0,27	59,64	16,05	61,76	
Потери в трансформаторах	$K_z=0,49;$ $K_{пер}=0,98$	1,14	4,9		
Итого на стороне ВН 10 кВ с учетом выполнения предельного $\text{tg}\varphi$	0,34	60,78	20,95	64,29	

Выбираем следующие две конденсаторные установки для подключения на каждую секцию 0,4 кВ КТП: АУКРМ-ЭМ-0,4-10-5, номинальная мощность 10 кВАр каждая – выбираются две установки для обеспечения предельного $\text{tg}\varphi < 0,4$ на стороне ВН 6 кВ (таблица 7.4).

Таким образом, фактическая мощность комплектной конденсаторной установки:

$$Q_{\text{КУ}\Sigma} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ кВАр.}$$

Эта мощность записывается в соответствующую строку таблицы 7.4 со знаком минус.

$$I_{\text{КУ}} = \frac{S_{\text{КУ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 15,19 \text{ А.}$$

Выбираем для конденсаторной установки автоматический выключатель ВА 51-35 с номинальным током $I_{\text{НОМ}} = 16 \text{ А}$.

Коэффициент загрузки и коэффициент перегрузки соответственно:

$$K_{3.T} = \frac{S_{цеха}}{2S_{H.T}},$$

$$K_{3.T} = \frac{61,76}{2 \cdot 63} = 0,49 < 0,7;$$

$$K_{пер} = \frac{61,76}{63} = 0,98 < 1,4.$$

Исходя из таблицы 7.4 коэффициенты загрузки и перегрузки трансформаторов меньше предельных значений, а также предельное значение коэффициента реактивной мощности на стороне 6 кВ обеспечивается:

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,34 < \operatorname{tg}\varphi_{пред} = 0,4.$$

В соответствии с таблицей 12.4, мощность III уровня системы электропитания с учетом мощности компенсирующих устройств определится как:

$$P_{III} = P_{свл} + P_{осв} + \Delta P, \quad (7.1)$$

$$Q_{III} = Q_{свл} + Q_{осв} - Q_{КУ}, \quad (7.2)$$

$$S_{III} = \sqrt{P_{III}^2 + Q_{III}^2}. \quad (7.3)$$

По формулам (7.1) – (7.3) находим:

$$P_{III} = 50,1 + 7,584 + 1,96 = 59,64 \text{ кВт},$$

где потери в сети: $\Delta P = 0,034(P_{свл} + P_{осв}) = 0,034(50,1 + 7,584) = 1,96 \text{ кВт},$

$$Q_{III} = 33,57 + 2,48 - 20 = 16,05 \text{ кВар}.$$

$$S_{III} = \sqrt{59,64^2 + 16,05^2} = 61,76 \text{ кВА}.$$

Нагрузка на IV уровне электропитания может быть определена с учетом потерь в обоих трансформаторах, входящих в состав КТП, поэтому в соответствии с таблицей 12.4 получим:

$$P_{IV} = P_{III} + \Delta P_T; \quad (7.4)$$

$$Q_{IV} = Q_{III} + \Delta Q_T; \quad (7.5)$$

$$S_{IV} = \sqrt{P_{IV}^2 + Q_{IV}^2}. \quad (7.6)$$

$$P_{IV} = 59,64 + 1,14 = 60,78 \text{ кВт};$$

$$Q_{IV} = 16,05 + 4,9 = 20,95 \text{ кВар};$$

$$S_{IV} = \sqrt{60,78^2 + 20,95^2} = 64,29 \text{ кВА}.$$

Определяем сечения линии связи КТП главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» с источником питания РПЗ61.

Сечения проводов в сетях выше 1000 В выбираются по экономической плотности тока:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (7.7)$$

где I_p – расчетный ток одной линии в нормальном режиме работы;
 $j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока [7].

Расчетный ток одной линии в нормальном режиме работы:

$$I_p = \frac{S_{\text{IV}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{64,29}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 1,86 \text{ А.}$$

По формуле (7.7) находим:

$$S_{\text{эк}} = \frac{1,86}{1,4} = 1,3 \text{ мм}^2.$$

Ближайшее стандартное для 6 кВ и допустимое по механической прочности сечение – 16 мм² [7, таблица 2.4.1]. По [18, таблица 10] при условии прокладки в земле выбираем кабель ААШв 3х16 с допустимым током нагрузки 75 А. Фактический длительный ток нагрева в послеаварийном режиме (когда отключается одна из параллельных линий) равен:

$$I_{\text{пав}} = 2 \cdot 1,86 = 3,72 \text{ А,}$$

следовательно, выбранное сечение проходит по допустимому току нагрева в рабочих режимах:

$$3,72 < 75 \text{ А.}$$

Выберем кабели для высоковольтных электроприемников по расчетным токам.

Для асинхронных электродвигателей 6 кВ:

$I_{\text{р1}} = 362,26 \text{ А}$; выбираем кабель ААШв 3х240 с допустимым током нагрузки 370 А.

Для тиристорных преобразователей ТПД-1 и ТПД-2:

$I_{\text{р1}} = 128,94 \text{ А}$; выбираем кабель ААШв 3х50 с допустимым током нагрузки 140 А.

8 Выбор конструктивного исполнения электрической сети, марки проводов, кабелей, способов их прокладки

Цеховую электрическую сеть выполняем кабельными линиями, проложенными в специальных каналах, по конструкциям главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» [12]. Отдельные электроприемники запитываются кабелями, проложенными в полу и по конструкциям, СП запитаны через кабели, проложенные в трубах в полу.

Трансформаторная подстанция – комплектная. Для удобства обслуживания и из технических соображений располагается рядом с объектом и находится в специально выделенном помещении, при этом не нарушается технологический режим.

На трансформаторных подстанциях установлены двухобмоточные трансформаторы типа ТМЗ напряжением 6/0,4 кВ.

На вводах используется вводные распределительные устройства. На отходящих линиях установлены автоматические выключатели.

Электрическая сеть ГВУ состоит из распределительной сети (сеть от НН КТП до СП), выполненной четырехжильными кабельными линиями напряжением 380 В марки АВББШв, и групповой сети (сеть от РП до электроприемников), выполненной четырехжильными кабельными линиями напряжением 380 В марки АВББШв.

АВББШв - это силовой бронированный лентами кабель, с алюминиевой жилой, изоляцией и защитным шлангом из ПВХ:

А - алюминиевая токопроводящая жила;

В - изоляция из ПВХ пластика;

Б - броня из стальных оцинкованных лент;

б - без подушки под броней;

Шв - выпрессованный ПВХ защитный шланг.

Все электроприемники и светильники собраны соответственно на щитки силовые типа ПР-8804 и осветительные типа ОЩВ-6.

Высоковольтные кабели марки ААШв (6 кВ) прокладываем в земле в траншее:

А - кабель имеет алюминиевые жилы;

А - оболочка кабеля также из алюминия;

Шв - означает наличие шлангового защитного покрова из ПВХ пластика.

9 Расчет защитных аппаратов электрических приемников и электрических сетей

Выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприемников производим по следующим условиям [13]:

а) по номинальному напряжению

$$U_a \geq U_{\text{ном.сети}}, \quad (9.1)$$

где U_a - номинальное напряжение автомата, В.

б) по номинальному току (уставка теплового расцепителя):

$$I_{\text{расц}} \geq 1,25 \cdot I_p, \quad (9.2)$$

$$I_{\text{ном.а}} \geq 1,25 \cdot I_p, \quad (9.3)$$

где $I_{\text{ном.а}}$ - номинальный ток теплового расцепителя, А;

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

в) по номинальному току электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{ном.то}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{пуск}}, \quad (9.4)$$

где $I_{\text{ном.то}}$ – номинальный ток срабатывания токовой отсечки, А:

$$I_{\text{ном.то}} = K_o \cdot I_{\text{расц}}, \quad (9.5)$$

где кратность отсечки K_o принимается из ряда 3, 5, 7, 10 для автоматов серии ВА. Для выполнения условия достаточно взять кратность не менее 5-7, соразмерную с кратностью пуска отдельного ЭП.

Результаты выбора автоматов для отдельных электроприемников представлены в таблице 9.1.

Таблица 10.1 – Выбор автоматов для отдельных ЭП

№ ЭП	I_p, A	Расчетный ток 1,0-1,25· I_p, A	$I_{ном.а}, A$	$I_{расц}, A$	$I_{пуск}, A$	Расчетный ток отсечки, 1,2· $I_{пуск}, A$	K_o	$I_{ном.то}, A$	Тип автомата	Отключающая способность, $I_{откл}, kA$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4,18	5,23	25	6,3	20,9	25,08	7	44,1	ВА 51-25	2
2	4,18	5,23	25	6,3	20,9	25,08	7	44,1	ВА 51-25	2
3	4,18	5,23	25	6,3	20,9	25,08	7	44,1	ВА 51-25	2
4	4,18	5,23	25	6,3	20,9	25,08	7	44,1	ВА 51-25	2
5	1,5	1,88	25	2	7,5	9	7	14	ВА 51-25	1,5
6	1,5	1,88	25	2	7,5	9	7	14	ВА 51-25	1,5
7	1,5	1,88	25	2	7,5	9	7	14	ВА 51-25	1,5
8	1,5	1,88	25	2	7,5	9	7	14	ВА 51-25	1,5
9	13,41	16,76	25	20	67,05	80,46	7	140	ВА 51-25	3
10	13,41	16,76	25	20	67,05	80,46	7	140	ВА 51-25	3
11	13,41	16,76	25	20	67,05	80,46	7	140	ВА 51-25	3
12	13,41	16,76	25	20	67,05	80,46	7	140	ВА 51-25	3
13	13,41	16,76	25	20	67,05	80,46	7	140	ВА 51-25	3
14	13,41	16,76	25	20	67,05	80,46	7	140	ВА 51-25	3
15	13,41	16,76	25	20	67,05	80,46	7	140	ВА 51-25	3
16	13,41	16,76	25	20	67,05	80,46	7	140	ВА 51-25	3
17	67,27	67,27	100	80	201,81	242,17	7	560	ВА 51-31	6

Выбор автоматических выключателей для защиты линий (к СП), питающих группу электроприемников, производим по следующим условиям [13]:

а) по номинальному напряжению

$$U_a \geq U_{ном.сети}, \quad (9.6)$$

где U_a - номинальное напряжение автомата, В.

Все выбираемые автоматы рассчитаны на напряжение 0,4-0,66 кВ.

б) по номинальному току (уставка теплового расцепителя), в зависимости от того, есть ли в группе двигатели (1,1) или это бездвигательная нагрузка (1,0):

$$I_{расц} \geq (1,0 - 1,1) \cdot I_m, \quad (9.7)$$

$$I_{ном.а} \geq (1,0 - 1,1) \cdot I_m, \quad (9.8)$$

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

$I_{расц}$ - номинальный ток теплового расцепителя, А;

I_m - максимальный расчетный ток защищаемой линии.

в) по номинальному току электромагнитного расцепителя:

$$I_{ном.то} \geq 1,2 \cdot I_{пик}, \quad (9.9)$$

где $I_{ном.то}$ – номинальный ток срабатывания токовой отсечки, А:

$$I_{ном.то} = K_o \cdot I_{расц}, \quad (9.10)$$

где кратность отсечки K_o принимается из ряда 3, 5, 7, 10 для автоматов серии ВА. Для выполнения условия достаточно взять кратность не менее 5-7, соизмеренную с кратностью пуска электродвигателя отдельного ЭП.

$I_{пик}$ – пиковый ток, А [12, с. 38]:

$$I_{пик} = I_{п.нб} + (I_p - k_{и.нб} \cdot I_{н.нб}), \quad (9.11)$$

где $I_{п.нб}$ – пусковой ток наибольшего по мощности электроприемника в группе, А;

$I_{н.нб}$ – номинальный ток наибольшего по мощности электроприемника в группе, А;

I_p – расчетный ток группы электроприемников, А;

$k_{и.нб}$ – коэффициент использования, характерный для наибольшего по мощности электроприемника в группе.

Для защиты распределительных пунктов и КТП выбираем автоматы серии ВА51 - ВА53 [13] (таблицы 9.2-9.3).

Таблица 9.2 – Выбор автоматов для защиты СП

Наименование	Расчетный ток присоединения, А	Расчетный ток для выбора автомата, А	Номинальный ток автомата $I_{ном.а}, А$	Номинальный ток расцепителя $I_{расц}, А$	Пиковый ток $I_{пик}, А$	Расчетный ток отсечки, $1,2 \cdot I_{пик}, А$	K_o	$I_{ном.т ос}, А$	Тип автомата	Отключающая способность, $I_{откл}, кА$
СП-1	43,44	44,31	100	50	217,2	260,64	7	350	ВА 51-31	7
СП-2	43,44	47,78	100	50	217,2	260,64	7	350	ВА 51-31	7

Таблица 9.3 – Выбор вводного и секционного автоматов на КТП

Наименование автомата на НН КТП	Расчетный ток присоединения, А	Расчетный ток для выбора автомата, А	Номинальный ток автомата $I_{ном.а}, А$	Номинальный ток расцепителя $I_{расц}, А$	Пиковый ток $I_{пик}, А$	Расчетный ток отсечки, $1,2 \cdot I_{пик}, А$	K_o	$I_{ном.т ос}, А$	Тип автомата	Отключающая способность, $I_{откл}, кА$
Вводной QF1, QF3	103,35	108,52	160	125	516,75	620,1	7	875	ВА 51-35	15
Секционный QF2	51,68	54,26	100	63	258,4	310,08	7	441	ВА 51-31	7

10 Выбор сечений проводов и жил кабелей для подключения ЭП

Для питания СП и ЭП применяем кабели марки АВБбШв, выбор сечения которых производится по расчетному току [17].

Сечение кабеля выбирается по нагреву длительным расчетным током, тогда приведенный расчетный ток будет определяться по выражению:

$$I_{\text{расчп}} = \frac{I_p}{k_{\text{п}}}, \quad (10.1)$$

где I_p – расчетный ток проводника, А;

$k_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей (при нормальных условиях прокладки $k_{\text{п}} = 1$).

Затем по справочной литературе находится сечение проводника, удовлетворяющее условию:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{расчп}}, \quad (10.2)$$

Проводники для линий к отдельным электроприемникам выбираются с учетом соответствия аппарату защиты согласно условиям [13]:

$$I_{\text{пр}} \geq I_p, \quad (10.3)$$

$$I_{\text{пр}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{расц}}, \quad (10.4)$$

где $K_{\text{зщ}} = 1$ – поправочный коэффициент защиты (для невзрыво- и непожароопасных помещений); $I_{\text{ном.а}}$ – номинальный ток уставки теплового расцепителя автомата, А (таблица 10.1, графа 5).

Выбор сечений проводов и кабельных линий приведен в таблицах 10.1-10.2.

Таблица 10.1 – Выбор кабелей для питания СП

Номер СП	Расчетный ток I_p , А	Ток срабатывания теплового расцепителя автомата, А	Допустимый ток кабеля, А	Сечение основной жилы S , мм ²	Марка, сечение кабеля
1	2	3	4	5	6
СП-1	43,44	50	62	16	АВБбШв 4x16
СП-2	43,44	50	62	16	АВБбШв 4x16

Таблица 10.2 – Выбор сечений кабельных линий для ЭП

№ ЭП	Расчетный ток I_p , А	Номинальный ток расцепителя автомата, А	Допустимый ток кабеля, А	Сечение основной жилы S , мм ²	Марка, сечение кабеля
1	2	3	4	5	6
1	4,18	6,3	27	4	АВБбШв 4х4
2	4,18	6,3	27	4	АВБбШв 4х4
3	4,18	6,3	27	4	АВБбШв 4х4
4	4,18	6,3	27	4	АВБбШв 4х4
5	1,5	2	27	4	АВБбШв 4х4
6	1,5	2	27	4	АВБбШв 4х4
7	1,5	2	27	4	АВБбШв 4х4
8	1,5	2	27	4	АВБбШв 4х4
9	13,41	20	27	4	АВБбШв 4х4
10	13,41	20	27	4	АВБбШв 4х4
11	13,41	20	27	4	АВБбШв 4х4
12	13,41	20	27	4	АВБбШв 4х4
13	13,41	20	27	4	АВБбШв 4х4
14	13,41	20	27	4	АВБбШв 4х4
15	13,41	20	27	4	АВБбШв 4х4
16	13,41	20	27	4	АВБбШв 4х4
17	67,27	80	82	25	АВБбШв 4х25

Произведем расчет потерь мощности и напряжения в кабельных линиях (таблица 10.3-10.4). Потеря напряжения в процентах к номинальному напряжению сети [12]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi), \quad (10.5)$$

где I_p - расчетный ток электроприемника, А, остальное - формула (7.9).

Потеря напряжения в процентах:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_{ном}}, \quad (10.6)$$

Потеря активной и реактивной мощности:

$$\Delta P = 3 \cdot I_{pAB}^2 \cdot r_{уд} \cdot l, \quad (10.7)$$

$$\Delta Q = 3 \cdot I_{pAB}^2 \cdot x_{уд} \cdot l, \quad (10.8)$$

где I_{pAB} – максимальный рабочий ток электроприемника, А; остальное - формула (7.9).

Таблица 10.3 – Расчет потерь мощности и напряжения

№	cosφ	sinφ	L, м	I _p , А	S, мм ²	Γ _{уд} , Ом/км	X _{уд} , Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU, В	ΔQ, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,8	0,6	22	4,18	4	7,74	0,095	0,26	0,009	0,988	0,0001
2	0,8	0,6	22	4,18	4	7,74	0,095	0,26	0,009	0,988	0,0001
3	0,8	0,6	26	4,18	4	7,74	0,095	0,31	0,011	1,178	0,0001
4	0,8	0,6	26	4,18	4	7,74	0,095	0,31	0,011	1,178	0,0001
5	0,76	0,65	25	1,5	4	7,74	0,095	0,1	0,001	0,38	0,00002
6	0,76	0,65	25	1,5	4	7,74	0,095	0,1	0,001	0,38	0,00002
7	0,76	0,65	42	1,5	4	7,74	0,095	0,17	0,002	0,646	0,00003
8	0,76	0,65	42	1,5	4	7,74	0,095	0,17	0,002	0,646	0,00003
9	0,85	0,53	50	13,41	4	7,74	0,095	2,03	0,209	7,714	0,0026
10	0,85	0,53	56	13,41	4	7,74	0,095	2,27	0,234	8,626	0,0029
11	0,85	0,53	56	13,41	4	7,74	0,095	2,27	0,234	8,626	0,0029
12	0,85	0,53	50	13,41	4	7,74	0,095	2,03	0,209	7,714	0,0026
13	0,85	0,53	44	13,41	4	7,74	0,095	1,78	0,184	6,764	0,0023
14	0,85	0,53	48	13,41	4	7,74	0,095	1,94	0,2	7,372	0,0025
15	0,85	0,53	48	13,41	4	7,74	0,095	1,94	0,2	7,372	0,0025
16	0,85	0,53	44	13,41	4	7,74	0,095	1,78	0,184	6,764	0,0023
17	0,8	0,6	78	67,27	25	1,24	0,0662	2,47	1,313	9,386	0,0701

Таблица 10.4 – Расчет потерь в кабелях, питающих СП

№ СП	cosφ	sinφ	L, м	I _{раб} , А	S, мм ²	Γ _{уд} , Ом/км	X _{уд} , Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU, В	ΔQ, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,84	0,54	38	43,44	16	1,94	0,0675	1,25	0,417	4,75	0,015
2	0,84	0,54	44	43,44	16	1,94	0,0675	1,45	0,483	5,51	0,017

11 Электротехнический расчет электрического освещения. Выбор щитов освещения, кабелей и защитной аппаратуры

11.1 Электротехнический расчет рабочего освещения

Для светильников общего освещения применяется напряжение 220 В. Электроснабжение рабочего и аварийного освещения выполняется самостоятельными линиями от шин низкого напряжения подстанции. При этом электроэнергия от подстанции передаётся питающими линиями на групповые осветительные щитки. Питание источников света осуществляется от групповых щитков групповыми линиями.

Распределение светильников по фазам по длине групповой линии выполняется для снижения потерь мощности и напряжения в проводе, уменьшения стробоскопического эффекта и снижения ущерба при исчезновении напряжения в одной из фаз. Нагрузку можно считать равномерной, если моменты нагрузок отличаются незначительно.

$$M = \sum P_i * l_i,$$

где: P_i – мощность лампы, (кВт); l_i – расстояние от источника питания до лампы, (м).

Сечение проводника отходящих линий определяется по выражению:

$$F = \frac{M_{гр.i}}{C * \Delta U_{доп}},$$

где: $M_{гр.i}$ – момент нагрузки для каждой группы, (кВт * м); C – коэффициент, значение которого зависит от схемы и материала проводника, принимаем $C = 7,4$, для медного проводника, однофазной сети с нулем.

Согласно ПУЭ, допустимая потеря напряжения для осветительной нагрузки составляет -2,5%.

Выбранный кабель проверяется по потерям напряжения:

$$\Delta U = \frac{M_{гр.i}}{C * F}.$$

Расчетная нагрузка определяется по формуле (5.4).

Расчетный ток определяется по аналогии с формулой (4.5) применительно к светодиодному освещению, учитывая коэффициент мощности в знаменателе 0,95 и активную мощность в числителе дроби.

Расчетный ток осветительной нагрузки:

$$I_{\text{расч.о}} = \frac{N * P_i * K_c * K_{\text{пот}}}{\sqrt{3} * U_{\text{л}} * \cos \varphi},$$

где: N – количество ламп в помещении; K_c – коэффициент спроса осветительной нагрузки, принимаем $K_c = 0,95$, для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов; $K_{\text{пот}}$ – коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре.

Расчетный ток для отходящих групп светильников:

$$I_{\text{гр.}i} = \frac{n * P_{\text{ном}} * K_c * K_{\text{пот}}}{U_{\phi} * \cos \varphi},$$

где n – количество ламп в группе.

Условие выбора автоматов для отходящих линий:

$$I_{\text{доп}} \geq k_n * I_{\text{гр.}i},$$

k_n – коэффициент надежности, учитывающий некоторый запас по току, неточности настройки и разброс срабатывания защиты (принимается равным 1,1).

По расчетному току выбираются осветительный щиток типа ЩО, автомат на вводе и на отходящих линиях.

В машинном зале установлено 24 светильника (3 ряда по 8 светильников) с лампами мощностью 200 Вт. Для светодиодных светильников принимается $K_{\text{пот}} = 1,0$; $\cos \varphi_{\text{сл}} = 0,95$.

Распределение светильников по группам и по фазам для рабочего и аварийного освещения показано на рисунке 16.1.

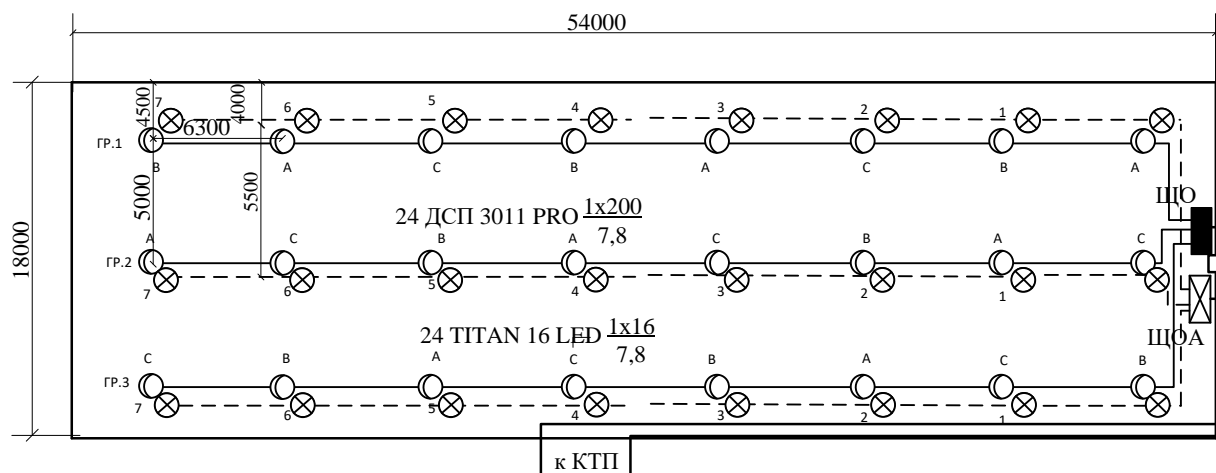


Рисунок 16.1 – Распределение светильников по группам и по фазам для рабочего освещения и аварийного освещения

Расстояние от первого светильника группы 1 до щитка:

$$l_{01} = h_c + (H - h_{щ0}) + l_B + l = 1,2 + (9 - 1,5) + 2,5 + 6 = 18,2 \text{ м.}$$

Расстояние от первого светильника группы 2 до щитка:

$$l_{02} = h_c + (H - h_{щ0}) + l_B + l = 1,2 + (9 - 1,5) + 2,5 + 4 = 16,2 \text{ м.}$$

Расстояние от первого светильника группы 2 до щитка:

$$l_{03} = h_c + (H - h_{щ0}) + l_B + l = 1,2 + (9 - 1,5) + 2,5 + 8 = 20,2 \text{ м.}$$

Значения результирующих моментов по каждой фазе:

группа 1:

$$\text{фаза А: } 0,2 \cdot 18,2 + 0,2 \cdot (18,2 + 6,3 \cdot 3) + 0,2 \cdot (18,2 + 6,3 \cdot 6) = 27,15 \text{ кВт.м.};$$

$$\text{фаза В: } 0,2 \cdot (18,2 + 6,3 \cdot 1) + 0,2 \cdot (18,2 + 6,3 \cdot 4) + 0,2 \cdot (18,2 + 6,3 \cdot 7) = 31,65 \text{ кВт.м.};$$

$$\text{фаза С: } 0,2 \cdot (18,2 + 6,3 \cdot 2) + 0,2 \cdot (18,2 + 6,3 \cdot 5) = 19,6 \text{ кВт.м.};$$

группа 2:

$$\text{фаза А: } 0,2 \cdot (16,2 + 6,3 \cdot 1) + 0,2 \cdot (16,2 + 6,3 \cdot 4) + 0,2 \cdot (16,2 + 6,3 \cdot 7) = 30,15 \text{ кВт.м.};$$

$$\text{фаза В: } 0,2 \cdot (16,2 + 6,3 \cdot 2) + 0,2 \cdot (16,2 + 6,3 \cdot 5) = 18,6 \text{ кВт.м.};$$

$$\text{фаза С: } 0,2 \cdot 16,2 + 0,2 \cdot (16,2 + 6,3 \cdot 3) + 0,2 \cdot (16,2 + 6,3 \cdot 6) = 25,65 \text{ кВт.м.};$$

группа 3:

$$\text{фаза А: } 0,2 \cdot (20,2 + 6,3 \cdot 2) + 0,2 \cdot (20,2 + 6,3 \cdot 5) = 20,6 \text{ кВт.м.};$$

$$\text{фаза В: } 0,2 \cdot 20,2 + 0,2 \cdot (20,2 + 6,3 \cdot 3) + 0,2 \cdot (20,2 + 6,3 \cdot 6) = 28,65 \text{ кВт.м.};$$

$$\text{фаза С: } 0,2 \cdot (20,2 + 6,3 \cdot 1) + 0,2 \cdot (20,2 + 6,3 \cdot 4) + 0,2 \cdot (20,2 + 6,3 \cdot 7) = 33,15 \text{ кВт.м.}$$

$$M_{\max} = 20,6 + 28,65 + 33,15 = 82,4 \text{ кВт.м.}$$

Суммарные моменты по фазам А, В, С соответственно составят 77,9 кВт.м., 78,9 кВт.м., 78,4 кВт.м. Условие выполняется:

$$\sum M_A = \sum M_B = \sum M_C.$$

Расчетное сечение провода:

$$F = \frac{77,9 + 78,9 + 78,4}{46 \cdot 2,5} = 2,05 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

По расчетному сечению принимаем провод ПВС 4х2,5, $I_{\text{доп}} = 30 \text{ (А)}$.

Проверим выбранный кабель по потере напряжения:

$$\Delta U = \frac{235,2}{46 \cdot 4} = 1,28 \% < 2,5 \%.$$

Определим расчетные токи осветительной нагрузки для всего машинного зала, и для каждой группы:

$$I_{\text{расч.о}} = \frac{24 \cdot 0,2 \cdot 10^3 \cdot 0,95 \cdot 1,0}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 17,02 \text{ (А)};$$

$$I_{гр.1} = \frac{8 * 0,2 * 10^3 * 0,95 * 1,0}{220 * 0,95} = 16,97 \text{ (A)};$$

$$I_{гр.1} = I_{гр.2} = I_{гр.3}.$$

По расчетному току осветительной нагрузки машинного зала принимаем кабель от ЩО до ТП марки ПВС, количеством и сечением жил 4x4, $I_{доп} = 30 \text{ (A)}$.

Выбор автоматов для отходящих линий:

$$30 \text{ (A)} \geq 1,1 * 17,02 = 18,72 \text{ (A)},$$

Принимаем осветительный щиток рабочего освещения ЩО-1 типа ОЩВ-6 УХЛ4, автоматические выключатели на вводе и на отходящих линиях серии ВА47-29.

Таблица 11.1 – Выбор осветительного щитка и автоматов для рабочего освещения

Тип щитка	Номинальный ток щитка, (А)	Тип и ном. ток вводного аппарата, (А)	Кол-во отходящих линий		Тип и ном ток. аппаратов групповых сетей, (А)
			номинальное	фактическое	
1	2	3	4	5	6
ОЩВ-6 УХЛ4	25	ВА47-29 32В	6	2	ВА47-29 16В

11.2 Электротехнический расчет аварийного освещения

В машинном зале установлено 24 светильника (3 ряда по 8 светильников) с лампами мощностью 200 Вт. Для светодиодных светильников принимается $K_{пот} = 1,0$; $\cos \varphi_{сл} = 0,95$.

Распределение светильников по группам и по фазам для рабочего и аварийного освещения показано на рисунке 16.1.

Расстояние от первого светильника группы 1 до щитка:

$$l_{01} = h_c + (H - h_{щ0}) + l_B + l = 1,2 + (9 - 1,5) + 2,5 + 8 = 19,2 \text{ м.}$$

Расстояние от первого светильника группы 2 до щитка:

$$l_{02} = h_c + (H - h_{щ0}) + l_B + l = 1,2 + (9 - 1,5) + 2,5 + 5 = 16,2 \text{ м.}$$

Расстояние от первого светильника группы 2 до щитка:

$$l_{03} = h_c + (H - h_{щ0}) + l_B + l = 1,2 + (9 - 1,5) + 2,5 + 6 = 17,2 \text{ м.}$$

Значения результирующих моментов по каждой фазе:

группа 1:

фаза А: $0,016 * 19,2 + 0,2 * (19,2 + 6,3 * 3) + 0,016 * (19,2 + 6,3 * 6) = 8,83 \text{ кВт.м.};$

фаза В: $0,016 * (19,2 + 6,3 * 1) + 0,016 * (19,2 + 6,3 * 4) + 0,016 * (19,2 + 6,3 * 7) = 10,55 \text{ кВт.м.};$

фаза С: $0,016 * (19,2 + 6,3 * 2) + 0,016 * (19,2 + 6,3 * 5) = 6,53 \text{ кВт.м.};$

группа 2:

фаза А: $0,016 * (16,2 + 6,3 * 1) + 0,016 * (16,2 + 6,3 * 4) + 0,016 * (16,2 + 6,3 * 7) = 10,05 \text{ кВт.м.};$

фаза В: $0,016 * (16,2 + 6,3 * 2) + 0,016 * (16,2 + 6,3 * 5) = 6,2 \text{ кВт.м.};$

фаза С: $0,016 \cdot 16,2 + 0,016 \cdot (16,2 + 6,3 \cdot 3) + 0,016 \cdot (16,2 + 6,3 \cdot 6) = 8,55$ кВт.м.;

группа 3:

фаза А: $0,016 \cdot (17,2 + 6,3 \cdot 2) + 0,016 \cdot (17,2 + 6,3 \cdot 5) = 6,87$ кВт.м.;

фаза В: $0,016 \cdot 17,2 + 0,016 \cdot (17,2 + 6,3 \cdot 3) + 0,016 \cdot (17,2 + 6,3 \cdot 6) = 9,55$ кВт.м.;

фаза С: $0,016 \cdot (17,2 + 6,3 \cdot 1) + 0,016 \cdot (17,2 + 6,3 \cdot 4) + 0,016 \cdot (17,2 + 6,3 \cdot 7) = 11,05$ кВт.м.

$$M_{\max} = 6,87 + 9,55 + 11,05 = 27,47 \text{ кВт.м.}$$

Суммарные моменты по фазам А, В, С соответственно составят 25,97 кВт.м., 26,3 кВт.м., 26,13 кВт.м. Условие выполняется:

$$\sum M_A = \sum M_B = \sum M_C.$$

Расчетное сечение провода:

$$F = \frac{25,97 + 26,3 + 26,13}{46 \cdot 2,5} = 0,68 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

По расчетному сечению принимаем провод ПВС 4х2,5, $I_{\text{доп}} = 25$ (А).

Проверим выбранный кабель по потере напряжения:

$$\Delta U = \frac{78,4}{46 \cdot 2,5} = 0,68 \% < 2,5 \%$$

Определим расчетные токи осветительной нагрузки для всего машинного зала, и для каждой группы:

$$I_{\text{расч.о}} = \frac{24 \cdot 0,016 \cdot 10^3 \cdot 0,95 \cdot 1,0}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 5,95 \text{ (А);}$$

$$I_{\text{гр.1}} = \frac{8 \cdot 0,016 \cdot 10^3 \cdot 0,95 \cdot 1,0}{220 \cdot 0,95} = 5,83 \text{ (А);}$$

$$I_{\text{гр.1}} = I_{\text{гр.2}} = I_{\text{гр.3}}.$$

По расчетному току осветительной нагрузки машинного зала принимаем кабель от ЩО до ТП марки ПВС, количеством и сечением жил 4х2,5, $I_{\text{доп}} = 25$ (А).

Выбор автоматов для отходящих линий:

$$25 \text{ (А)} \geq 1,1 \cdot 5,95 = 6,55 \text{ (А)}.$$

Принимаем осветительный щиток ЩОА типа ОЩВ-6 УХЛ4, автоматические выключатели на вводе на 10 А и на отходящих линиях 6,3 А серии ВА47-29.

Для освещения остальных технических помещений, имеющих по сравнению с машинным залом достаточно низкую суммарную мощность, по аналогии можно принять кабели для питания групповых и ответвительных сетей марки ПВС, количеством и сечением жил 4х2,5, $I_{\text{доп}} = 25$ (А), которые запитываются от собственного щита ЩО-2.

12 Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания и проверка коммутационно-защитной аппаратуры по условиям устойчивости токам короткого замыкания

12.1 Расчет токов трехфазного к.з. в сети напряжением выше 1 кВ

Рассчитаем ток короткого замыкания с учетом сопротивления внешней сети (системы и питающей линии). Расчетная схема сети и ее схема замещения представлены на рисунках 12.1-12.2.

Сопротивления линии, питающей КТП:

$$x_{Л} = x_0 \ell_{Л} = 0,099 \cdot 0,035 = 0,003 \text{ Ом.}$$

$$r_{Л} = r_0 \ell_{Л} = 1,24 \cdot 0,035 = 0,04 \text{ Ом.}$$

Т.к. мощность трансформаторов ПС энергосистемы неизвестна, то сопротивление электрической системы можно определить согласно [2, п. 2.8]. Для этого выбираем тип выключателя (в частности, вакуумного), который может быть установлен для защиты отходящей линии ПС, от которой питается рассматриваемый объект: ВВЭ-М-6-12,5/630У2. По каталогу [11] определяем ток отключения $I_{откл} = 12,5$ кА для этого выключателя. Сопротивление между источником питания и точкой, в которой ток и мощность короткого замыкания не превысят соответствующих параметров выключателя, определяется по формуле [8]:

$$x_c = \frac{U_{ср.ном}^2}{S_c} = \frac{6,3^2}{136,4} = 0,29 \text{ Ом,}$$

$$\text{где } S_c = \sqrt{3} \cdot I_{ном\ откл.} \cdot U_{ср.ном} = \sqrt{3} \cdot 12,5 \cdot 6,3 = 136,4 \text{ МВА.}$$

Рассчитаем результирующее сопротивление и ток КЗ в точке К1:

$$x_{\Sigma K1} = x_c = 0,29 \text{ Ом.}$$

$$I_{K1} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma K1}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 0,29} = 13 \text{ кА.}$$

$$i_{вд\ K1} = \sqrt{2} \cdot k_{вд} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 13 = 33,09 \text{ кА.}$$

где $k_{вд} = 1,8$ – ударный коэффициент на стороне ВН [13].

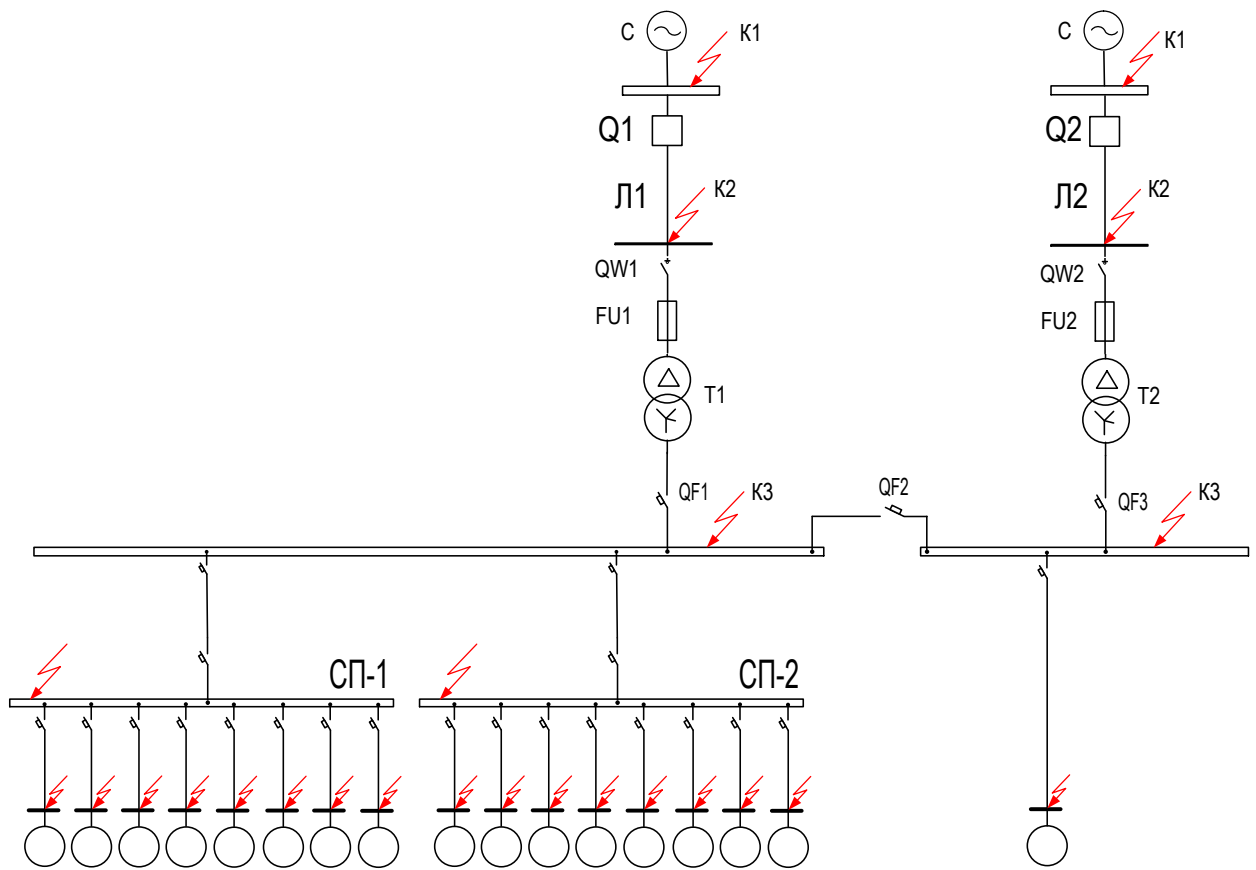


Рисунок 17.1 – Расчетная схема

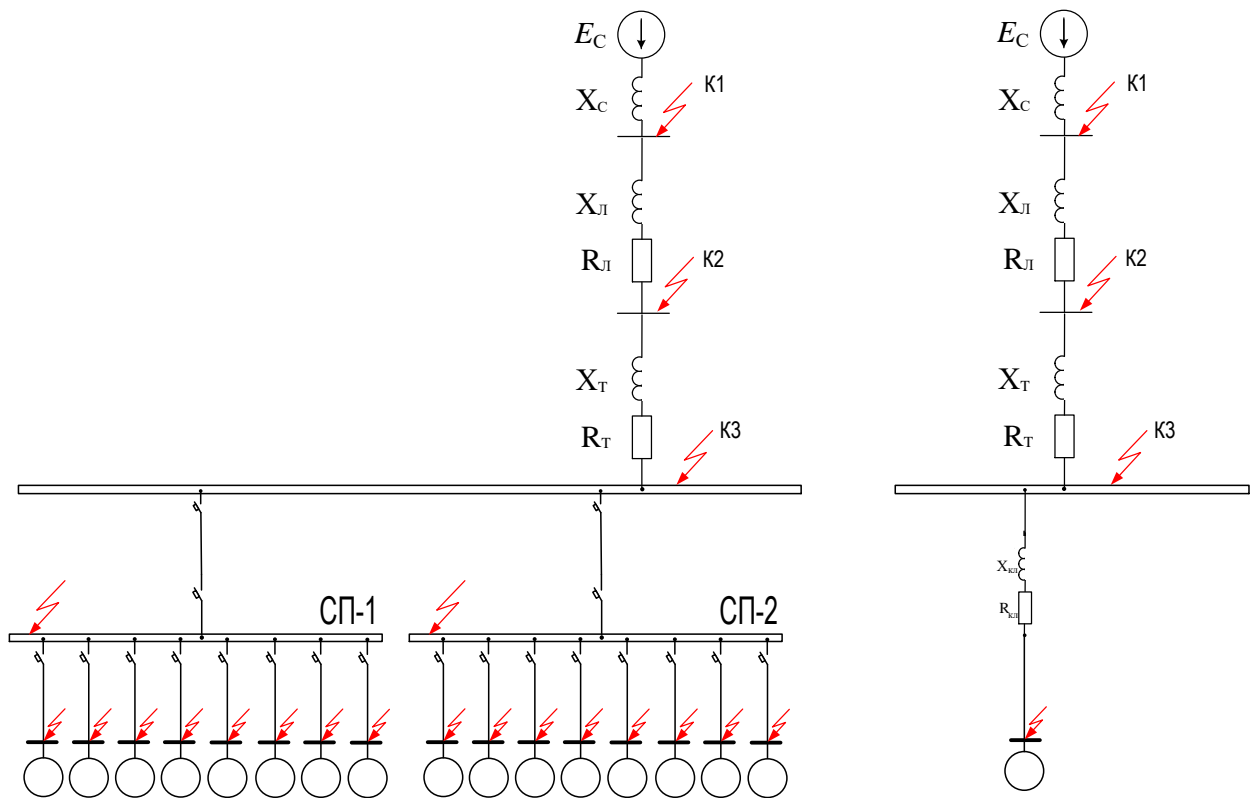


Рисунок 17.2 – Схема замещения

Рассчитаем результирующее сопротивление и ток КЗ в точке К2:

$$x_{\Sigma K2} = x_C + x_L = 0,29 + 0,003 = 0,293 \text{ Ом.}$$

$$r_{\Sigma K2} = r_L = 0,04 \text{ Ом.}$$

$$I_{K2} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K2}^2 + r_{\Sigma K2}^2}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,293^2 + 0,04^2}} = 12,3 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{ВД К2}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{ВД}} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 12,3 = 31,31 \text{ кА.}$$

12.2 Расчет токов трехфазного к.з. в сети напряжением ниже 1 кВ

Пересчет сопротивлений к другой ступени напряжения производится по выражению [8, 12]:

$$X_{\text{к}} = X_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2, \quad (12.1)$$

где $X_{\text{к}}$ – сопротивление (Ом), приведенное к ступени напряжения $U_{\text{ср. к}}$.

Приведенное сопротивление системы:

$$x_C = \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_c} \cdot \left(\frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2 = \frac{6000^2}{136,4 \cdot 10^6} \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{6,3} \right)^2 = 1,06 \text{ мОм,}$$

где S_c – мощность системы.

Приведенные сопротивления линии:

$$x_L = x_{\text{удЛ}} \ell_L \cdot \left(\frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2 = 0,099 \cdot 0,035 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{6,3} \right)^2 = 0,01 \text{ мОм.}$$

$$r_L = r_{\text{удЛ}} \ell_L \cdot \left(\frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2 = 1,24 \cdot 0,035 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{6,3} \right)^2 = 0,17 \text{ мОм.}$$

В расчетах далее учитываются все сопротивления короткозамкнутой цепи, как индуктивные, так и активные. Кроме того, учитывают активные сопротивления всех переходных контактов в этой цепи [12].

Определяем сопротивление трансформатора:

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_{к.з.}}{S_{ном.тр.}} \cdot \frac{U_{ном.}^2}{S_{ном.тр.}} \cdot 10^6; \quad (12.2)$$

$$x_{mp} = \sqrt{\left(\frac{U_{к.з.}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{к.з.}}{S_{ном.тр.}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ном.}^2}{S_{ном.тр.}} \cdot 10^6. \quad (12.3)$$

$$r_{mp} = \frac{1,28}{63} \cdot \frac{0,4^2}{63} \cdot 10^6 = 51,6 \text{ мОм};$$

$$x_{mp} = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{1,28}{63}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{63} \cdot 10^6 = 101,97 \text{ мОм}.$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К3.

$$x_{\Sigma K3} = x_C + x_{Л} + x_{mp} = 1,06 + 0,01 + 101,97 = 103,04 \text{ мОм}.$$

$$r_{\Sigma K3} = r_{mp} + r_{Л} + r_{доб} = 51,6 + 0,17 + 15 = 66,77 \text{ мОм}.$$

$$\frac{x_{\Sigma K3}}{r_{\Sigma K3}} < 0,5, \text{ следовательно, } K_{y\delta} = 1,0 \text{ [12, с. 143].}$$

$$I_{K3} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K3}^2 + r_{\Sigma K3}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{103,04^2 + 66,77^2}} = 1,88 \text{ кА}.$$

$$i_{вд K3} = \sqrt{2} \cdot k_{вд} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,88 = 2,66 \text{ кА}.$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К4.

$$x_{\Sigma K4} = x_{\Sigma K3} + x_{кЛ СП-1} \cdot l = 103,04 + 0,0675 \cdot 38 = 105,605 \text{ мОм},$$

$$r_{\Sigma K4} = r_{\Sigma K3} + r_{кЛ СП-1} \cdot l + r_{доб \text{ перв}} = 66,77 + 1,94 \cdot 38 + 5 = 145,49 \text{ мОм}.$$

$$\frac{x_{\Sigma K4}}{r_{\Sigma K4}} < 0,5, \text{ следовательно } K_{y\delta} = 1,0 \text{ [12, с. 168].}$$

$$I_{K4} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K4}^2 + r_{\Sigma K4}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{105,605^2 + 145,49^2}} = 1,285 \text{ кА},$$

$$i_{вд K4} = \sqrt{2} \cdot k_{вд} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,285 = 1,817 \text{ кА}.$$

Для остальных точек расчет аналогичен (таблица 12.1).

Таблица 12.1 – Расчет токов короткого замыкания

Точка КЗ	Кабель между СП и электроприемником №:			Ri, мОм	Xi, мОм	L, м	г ₀ , Ом/км	х ₀ , Ом/км	R _{кЛ} , мОм	X _{кЛ} , мОм	R _{доб.} , 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
К4	СП-1	-	Шины НН КТП	66,77	103,04	38	1,94	0,0675	73,720	2,565	20	145,490	105,605	179,777	1,285	1	1,817
К5	СП-1	-	1	145,49	105,605	22	7,74	0,095	170,280	2,090	25	320,770	107,695	338,366	0,683	1	0,966
К6	СП-1	-	3	145,49	105,605	26	7,74	0,095	201,240	2,470	25	351,730	108,075	367,960	0,628	1	0,888
К7	СП-1	-	5	145,49	105,605	25	7,74	0,095	193,500	2,375	25	343,990	107,980	360,540	0,641	1	0,907
К8	СП-1	-	7	145,49	105,605	42	7,74	0,095	325,080	3,990	25	475,570	109,595	488,035	0,473	1	0,669
К9	СП-1	-	9	145,49	105,605	50	7,74	0,095	387,000	4,750	25	537,490	110,355	548,702	0,421	1	0,595
К10	СП-1	-	11	145,49	105,605	56	7,74	0,095	433,440	5,320	25	583,930	110,925	594,372	0,389	1	0,550
К11	СП-1	-	13	145,49	105,605	44	7,74	0,095	340,560	4,180	25	491,050	109,785	503,173	0,459	1	0,649
К12	СП-1	-	15	145,49	105,605	48	7,74	0,095	371,520	4,560	25	522,010	110,165	533,508	0,433	1	0,612
К13	СП-2	-	Шины НН КТП	66,77	103,04	44	1,94	0,0675	85,360	2,970	20	157,130	106,010	189,547	1,218	1	1,723
К14	СП-2	-	2	157,13	106,01	22	7,74	0,095	170,280	2,090	25	332,410	108,100	349,545	0,661	1	0,935
К15	СП-2	-	4	157,13	106,01	26	7,74	0,095	201,240	2,470	25	363,370	108,480	379,217	0,609	1	0,861
К16	СП-2	-	6	157,13	106,01	25	7,74	0,095	193,500	2,375	25	355,630	108,385	371,780	0,621	1	0,878
К17	СП-2	-	8	157,13	106,01	42	7,74	0,095	325,080	3,990	25	487,210	110,000	499,473	0,462	1	0,653
К18	СП-2	-	10	157,13	106,01	56	7,74	0,095	433,440	5,320	25	595,570	111,330	605,886	0,381	1	0,539
К19	СП-2	-	12	157,13	106,01	50	7,74	0,095	387,000	4,750	25	549,130	110,760	560,189	0,412	1	0,583
К20	СП-2	-	14	157,13	106,01	48	7,74	0,095	371,520	4,560	25	533,650	110,570	544,984	0,424	1	0,600
К21	СП-2	-	16	157,13	106,01	44	7,74	0,095	340,560	4,180	25	502,690	110,190	514,625	0,449	1	0,635
К22	СП-3	-	Шины НН КТП – ЭП17	66,770	103,04	78	1,24	0,0662	96,720	5,164	25	168,490	108,204	200,242	1,153	1	1,631

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

Для расчета $I_{КЗ}^{(1)}$ по [7] рекомендуется формула:

$$I_{КЗ}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_{II}}, \quad (12.4)$$

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

Полное сопротивление петли «фазный - нулевой провод»:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_{д} + R_H + R_{ТТ} + R_A)^2 + (X' + X'' + X_C + X_{ТТ} + X_A)^2}, \quad (12.5)$$

где R_{ϕ} , R_H – суммарные активные сопротивления фазного и нулевого проводов.

$R_{д}$ – сопротивление дуги;

$R_{ТТ}$, $X_{ТТ}$ – активное и индуктивное сопротивление трансформатора тока.

Выполним расчет тока однофазного короткого замыкания для СП-1.

По [13] определяем полное сопротивление выбранного в п.12 трансформатора:

$$Z_T = 1237 \text{ мОм} = 1,237 \text{ Ом (при мощности 63 кВА)}.$$

Полное сопротивление петли «фазный – нулевой провод»:

$$Z_n = \sqrt{(38 \cdot 1,94 + 30 + 38 \cdot 1,94 + 0,15 + 2,05)^2 + (0,6 \cdot 38 + 1,06 + 0,21 + 1,2)^2} = 181,41 \text{ мОм}.$$

Определим ток однофазного КЗ в конце линии, питающей СП-1.

$$I_{КЗ}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_T / 3 + Z_{II}} = \frac{400 / \sqrt{3}}{1,237 / 3 + 0,18141} = 388,96 \text{ А}.$$

Аналогичные расчеты сведем в таблицу 12.2.

Таблица 12.2 – Расчет токов однофазного к.з.

Номер СП или ЭП	Сопротивление трансформатора однофазному к.з., Zт, МОм	Длина провода или кабеля, м	Сопротивления фазного, нулевого провода, Ом/км	Сопротивление дуги Rд, МОм	Сопротивление первичной обмотки ТТ, RтТ, МОм	Активное сопротивление автомата, МОм	Внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, Ом/км	Сопротивление питающей системы, МОм	Индуктивное сопротивление первичной обмотки ТТ, XтТ, МОм	Индуктивное сопротивление автомата, МОм	Результирующее активное сопротивление цепи фаза-нуль, МОм	Результирующее реактивное сопротивление цепи фаза-нуль, МОм	Результирующее полное сопротивление цепи фаза-нуль, МОм	Ток однофазного к.з., А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
СП-1	1237	38	1,94	30	0,15	2,05	0,6	1,06	0,21	1,2	179,64	25,27	181,409	388,96
1	1237	22	7,74	30		2	0,6			15	372,56	28,2	373,626	293,83
3	1237	26	7,74	30		2	0,6			15	434,48	30,6	435,556	272,37
5	1237	25	7,74	30		1,5	0,6			15	418,5	30	419,574	277,6
7	1237	42	7,74	30		1,5	0,6			15	681,66	40,2	682,844	210,87
9	1237	50	7,74	30		3	0,6			15	807	45	808,254	189,2
11	1237	56	7,74	30		3	0,6			15	899,88	48,6	901,191	175,82
13	1237	44	7,74	30		3	0,6			15	714,12	41,4	715,319	204,8
15	1237	48	7,74	30		3	0,6			15	776,04	43,8	777,275	194,13
СП-2	1237	44	1,94	30	0,15	2,05	0,6	1,06	0,21	1,2	202,92	28,87	204,963	374,12
2	1237	22	7,74	30		2	0,6			15	372,56	28,2	373,626	293,83
4	1237	26	7,74	30		2	0,6			15	434,48	30,6	435,556	272,37
6	1237	25	7,74	30		1,5	0,6			15	418,5	30	419,574	277,6
8	1237	42	7,74	30		1,5	0,6			15	681,66	40,2	682,844	210,87
10	1237	56	7,74	30		3	0,6			15	899,88	48,6	901,191	175,82
12	1237	50	7,74	30		3	0,6			15	807	45	808,254	189,2
14	1237	48	7,74	30		3	0,6			15	776,04	43,8	777,275	194,13
16	1237	44	7,74	30		3	0,6			15	714,12	41,4	715,319	204,8
17	1237	78	1,24	30		6	0,6			2,8	229,44	49,6	234,74	356,9

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

Проверка на отключающую способность осуществляется по выражению:

$$I_{\text{отклном}} \geq I_{\text{кзмах}} \cdot \quad (12.6)$$

Таблица 12.3 – Проверка автоматических выключателей

Место установки (СП или № ЭП)	Тип автоматического выключателя	Предельная отключающая способность, кА	Номер точки к.з.	$I_{кз}^{(3)}$, кА
1	2	3	4	5
Вводной автомат QF1, QF3	ВА 51-35	15	К3	1,88
Секционный автомат QF2	ВА 51-31	7	К3	1,88
Автомат защиты КУ	ВА 51-35	15	К3	1,88
Автомат защиты ЩО	ВА 47-29	15	К3	1,88
СП-1	ВА 51-31	7	К4	1,285
1	ВА 51-25	2	К5	0,683
3	ВА 51-25	2	К6	0,628
5	ВА 51-25	1,5	К7	0,641
7	ВА 51-25	1,5	К8	0,473
9	ВА 51-25	3	К9	0,421
11	ВА 51-25	3	К10	0,389
13	ВА 51-25	3	К11	0,459
15	ВА 51-25	3	К12	0,433
СП-2	ВА 51-31	7	К13	1,218
2	ВА 51-25	2	К14	0,661
4	ВА 51-25	2	К15	0,609
6	ВА 51-25	1,5	К16	0,621
8	ВА 51-25	1,5	К17	0,462
10	ВА 51-25	3	К18	0,381
12	ВА 51-25	3	К19	0,412
14	ВА 51-25	3	К20	0,424
16	ВА 51-25	3	К21	0,449
17	ВА 51-31	6	К22	1,153

Так, как $I_{откл\ ном} > I_K^{(3)}, кА$, то все автоматы выбраны правильно, и подходят по отключающей способности к токам к.з.

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

Произведем проверку чувствительности автоматических выключателей на линиях к однофазным КЗ по условию чувствительности [12]:

$$\frac{I_{кз}^{(1)}}{I_{рц.ном}} \geq 3. \quad (12.7)$$

(для автоматов с обратозависимой характеристикой). Данное условие выполняется для всех автоматов (таблица 12.2).

Таблица 12.2 – Проверка чувствительности автоматов к однофазным КЗ

Место установки (КТП, СП или ЭП)	Номер точки КЗ	Тип выключателя	$I_{рц.ном}$, А	$I_{кз(1)}$, А	$I_{кз(1)}/I_{рц.ном}$
1	2	3	4	5	6
Вводной автомат QF1, QF3	К3	ВА 51-35	160	1692	10,58
Секционный автомат QF2	К3	ВА 51-31	100	1692	16,92
Автомат защиты КУ	К3	ВА 51-35	20	1692	84,6
Автомат защиты ЩО	К3	ВА 47-29	25	1692	67,68
СП-1	К4	ВА 51-31	100	388,96	3,89
1	К5	ВА 51-25	6,3	293,83	46,64
3	К6	ВА 51-25	6,3	272,37	43,23
5	К7	ВА 51-25	2	277,6	138,8
7	К8	ВА 51-25	2	210,87	105,44
9	К9	ВА 51-25	20	189,2	9,46
11	К10	ВА 51-25	20	175,82	8,79
13	К11	ВА 51-25	20	204,8	10,24
15	К12	ВА 51-25	20	194,13	9,71
СП-2	К13	ВА 51-31	100	374,12	3,74
2	К14	ВА 51-25	6,3	293,83	46,64
4	К15	ВА 51-25	6,3	272,37	43,23
6	К16	ВА 51-25	2	277,6	138,8
8	К17	ВА 51-25	2	210,87	105,44
10	К18	ВА 51-25	20	175,82	8,79
12	К19	ВА 51-25	20	189,2	9,46
14	К20	ВА 51-25	20	194,13	9,71
16	К21	ВА 51-25	20	204,8	10,24
17	К22	ВА 51-31	80	356,9	4,46

Условия проверки выключателя нагрузки [3, 4]:

$$\begin{aligned}
 U_{ном} &\geq U_{ном.сети}; \\
 I_{ном.} &\geq I_{раб.мах.}; \\
 i_{ном.дин.} &\geq i_{уд.}; \\
 I_{у.доп.} &\geq I_{КЗ.мах.}; \\
 I_t^2 \cdot t_{пр} &\geq I_{КЗ.мах.}^2 \cdot t,
 \end{aligned}
 \tag{12.8}$$

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

$I_{откл.ном.пр.}$ – номинальный ток отключения предохранителя, кА;

В КТП установлены выключатели нагрузки типа ВНП-М1-6-У3 [11].

Каталожные данные:

$$U_{ном} = 10кВ, I_{ном} = 630А, i_{ном.дин.} = 80кА, I_t = 52кА, t_{пр} = 1с.$$

Условия проверки:

$$10кВ = 10кВ;$$

$$630А > 1,86А;$$

$$80кА > 33.1кА;$$

$$52кА > 12.5кА;$$

$$52^2 \cdot 1 > 12.5^2 \cdot 2 \quad \text{или} \quad 2704 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 312.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Имеющийся выключатель нагрузки удовлетворяет всем требованиям. Проверим установленный на КТП предохранитель из условий [3, 4]:

$$U_{ном.пр.} \geq U_{ном.сети};$$

$$I_{откл.ном.пр.} \geq I_{КЗ.мах};$$

$$I_{ном.пр.} \geq I_{раб.мах};$$

$$I_{ном.вст.} \geq I_{раб.мах},$$

(12.9)

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

В КТП установлены предохранители ПКТ-103-6-10-12,5-У3 [11]

$$10кВ = 10кВ;$$

$$12,5кА \geq 12.5кА;$$

$$10А > 1,86А;$$

$$2,5А > 1,86А.$$

Выбранный предохранитель отвечает всем требованиям.

Проверим вакуумные выключатели, которые установлены в голове питающих линий, идущих от РПЗ61 (6 кВ).

Выключатель на 10 кВ (ВВЭ-М-10-12,5/630У2), установленный в начале кабельной линии для питания КТП, не проверяется, т.к. ток к.з. в точке К1 был рассчитан из условия его предельной отключающей способности (см. п.11).

Проверка питающего кабеля напряжением 6 кВ.

Минимальное сечение проводника должно отвечать требованиям по термической стойкости:

$$F \geq F_{MIN}. \quad (12.10)$$

Минимальное сечение проводника, мм²:

$$F_{MIN} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (12.11)$$

где B_K – импульс квадратичного тока к.з., кА²/с;

$C = 95 A \cdot c^2 / мм^2$ – тепловая функция при номинальных условиях [7].

Импульс квадратичного тока к.з., кА²/с,

$$B_K = I_{K1}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (12.12)$$

где I_{K1} – ток к.з. в точке К1 – начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в рассматриваемой точке схемы (кА);

$t_{откл}$ – время отключения электроустановки, равное сумме времени действия основной релейной защиты и времени отключения выключателя в голове линии, с; T_a – постоянная времени затухания тока короткого замыкания, с.

$$B_K = 12,5^2 \cdot (0,1 + 0,01) \cdot 10^6 = 1718750 A^2 / c.$$

$$F_{MIN} = \frac{\sqrt{1718750}}{95} = 13,8 \text{ мм}^2.$$

Выбранное сечение кабеля $F = 16 \text{ мм}^2$.

$16 \text{ мм}^2 > 13,8 \text{ мм}^2$, следовательно, кабель подходит.

Кабели, питающие высоковольтные электропремники имеют большее сечение, поэтому, исходя из расчетного минимального сечения, они также проходят проверку.

13 Расчет стоимости реконструкции системы электроснабжения главной вентиляторной установки

Капитальные затраты на реконструкцию складываются из затрат на:

1. Распределительные пункты;
2. Кабели, питающие отдельные электроприемники и СП;
3. Коммутационно – защитные аппараты на 0,4 кВ.

Стоимость распределительных силовых пунктов (таблица 13.1).

Таблица 13.1 – Расчет стоимости силовых пунктов [20]

Номер СП	I_p , А	Марка СП	Номинальный ток СП, А	Количество присоединенный СП	Стоимость, руб
СП-1	43,44	ПР8804-1007	50	8	11577
СП-2	43,44	ПР8804-1007	50	8	11577
ИТОГО					23154

Стоимость кабельных линий (таблица 13.2) определяется как:

$$K_{кл} = \sum K_{кли} \cdot L_i, \quad (13.1)$$

где $K_{кли}$ – стоимость 1 м кабеля, L_i – длина кабеля.

Таблица 13.2 – Расчет стоимости кабелей [22]

№ п/п	Сечение кабеля	L, м	Цена, руб./м	Стоимость, руб
1	2	3	4	5
1	4	22	21	462
2	4	22	21	462
3	4	26	21	546
4	4	26	21	546
5	4	25	21	525
6	4	25	21	525
7	4	42	21	882
8	4	42	21	882
9	4	50	21	1050
10	4	56	21	1176
11	4	56	21	1176
12	4	50	21	1050
13	4	44	21	924
14	4	48	21	1008
15	4	48	21	1008
16	4	44	21	924
17	25	78	86	6708
Кабели, питающие СП				
СП-1	16	38	54	2052
СП-2	16	44	54	2376
			Итого	24282

Стоимость автоматов [23] (таблица 13.3).

Таблица 13.3 – Стоимость автоматов

Место установки	Тип автомата	Номинальный ток, А	Количество автоматов на присоединение	Цена автомата, руб.	Цена общая, руб.
СП-1	ВА 51-31	100	2	1200	2400
СП-2	ВА 51-31	100	2	1200	2400
1	ВА 51-25	25	1	450	450
2	ВА 51-25	25	1	450	450
3	ВА 51-25	25	1	450	450
4	ВА 51-25	25	1	450	450
5	ВА 51-25	25	1	450	450
6	ВА 51-25	25	1	450	450
7	ВА 51-25	25	1	450	450
8	ВА 51-25	25	1	450	450
9	ВА 51-25	25	1	450	450
10	ВА 51-25	25	1	450	450
11	ВА 51-25	25	1	450	450
12	ВА 51-25	25	1	450	450
13	ВА 51-25	25	1	450	450
14	ВА 51-25	25	1	450	450
15	ВА 51-25	25	1	450	450
16	ВА 51-25	25	1	450	450
17	ВА 51-31	100	1	1200	1200
				ИТОГО	13200

Стоимость (40 + 46 = 86 м) кабелей 6 кВ (3x50), питающих ТПД-1,2 составит:

$$86 \cdot 450 = 38700 \text{ руб.}$$

Стоимость (52 + 58 = 110 м) кабелей (3x240), питающих двигатели главных вентиляторов составит:

$$110 \cdot 1780 = 195800 \text{ руб.}$$

Расчет стоимости капиталовложений на реконструкцию схемы электроснабжения главной вентиляторной установки:

$$K_{\text{РЕК}} = K_{\text{КЛ } 0,4 \text{ кВ}} + K_{\text{КЛ } 6 \text{ кВ}} + K_{\text{СП}} + K_{\text{АВТОМАТ}} = 24,282 + (38,7 + 195,8) + 23,15 + 13,2 = 295,132 \text{ тыс. руб.}$$

Учитывая прочие материалы и монтажные работы, стоимость реконструкции можно оценить примерно в 0,6 млн. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения ВКР была произведена реконструкция действующей системы электроснабжения для повышения надежности электроснабжения потребителей главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск.

В ходе выполнения работы была дана характеристика объекта проектирования и действующей схемы его электроснабжения. На предварительном этапе были рассчитаны электрические нагрузки на первом уровне для силовых электроприемников, а также количество и мощность светильников, рассчитана нагрузка на втором уровне электроснабжения для узлов питания. На основании этих полученных результатов были выбраны актуальные марки трансформаторов соответствующей мощности и с учетом применения компенсирующих устройств для повышения коэффициента мощности и выполнения договорных условий по электроснабжению.

Для защиты узлов второго уровня и индивидуальных электроприемников выбраны защитные аппараты (автоматические выключатели), и далее, с ними согласованы сечения проводников (кабельные линии различного сечения). Для выбора щитов освещения, кабелей и защитной аппаратуры произведены электротехнические расчеты рабочего и аварийного освещения.

В конечном счете, была посчитана стоимость реконструкции системы электроснабжения главной вентиляторной установки участка ВС-6 рудника «Таймырский» г. Норильск.

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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Системы электроснабжения. Курсовое проектирование [Электронный ресурс] : учебн.-метод. пособие / сост. Н. В. Дулесова ; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Электрон. текстовые, граф. дан. (2,68 МБ). – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2016. – 72 с.
2. Конюхова, Е. А. Электроснабжение [Текст] : учебник / Е.А. Конюхова. – Электрон. дан. – М. : Издательский дом МЭИ, 2014. – 510 с.
3. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий [Текст] : Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.
4. Кудрин, Б. И. Электроснабжение [Текст] : учебник для использования в образовательном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата), профиль (направленность) "Электроснабжение" / Б. И. Кудрин, Б. В. Жилин, М. Г. Ошурков. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2018. - 382 с.
5. НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс]. – М.: АО ОТ ОТК ЗВНИ ПКИ Тяжпромэлектропроект, 1994 (1-я редакция). – М.: Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/9/9633/> (дата обращения 25.05.2022).
6. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» [Электронный ресурс] . – М.: Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский институт Тяжпромэлектропроект, 1993 (2-я редакция). – Режим доступа: <https://gostinform.ru/other-dokumenty/posobie-obj48368.html> (дата обращения 25.05.2022).
7. Правила устройства электроустановок [Текст]. - 7-е издание. - СПб.: Издательство ДЕАН, 2013. - 701 с.
8. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования [Текст] ; дата введ. 23.03.1998. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – 131 с. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200031256> (дата обращения 25.05.2022).
9. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок [Текст] ; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1994. – 27 с. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения 25.05.2022).
10. Кнорринг, Г. М. Справочник для проектирования электрического освещения [Текст]. - 6-е изд., перераб. - Ленинград : Энергия. Ленингр. отделение, 1968. - 391 с. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения 25.05.2022).
11. Киреева, Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике [Текст] : (с примерами расчетов) / Э. А. Киреева, С. Н. Шерстнев. - 3-е изд., стер. - Москва : КноРус, 2016. – 862 с.
12. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного про-

ектирования по электроснабжению промышленных предприятий [Электронный ресурс] / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. – М. : Энергоаомоиздат, 1987. – 368 с. – Режим доступа: <http://www.electrolibrary.info/books/fedorov.htm> (дата обращения 25.05.2022).

13. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения [Электронный ресурс] : Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2010. – 214 с. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/28024670-V-p-shehovcov-raschet-i-proektirovanie-shemzlekquysnabzheniya.html> (дата обращения 25.05.2022).

14. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс] : Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 25.05.2022).

15. Электродвигатели АИР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electronpro.ru/production> (дата обращения 25.05.2022).

16. Официальный сайт компании «Навигатор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.navigator-light.ru (дата обращения 25.05.2022).

17. ГОСТ 31996-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200102744> (дата обращения 25.05.2022).

18. ГОСТ 31946-2012. Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи. Общие технические условия (с Изменением N 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200102886> (дата обращения 25.05.2022).

19. Об установлении единых (котловых) тарифов на услуги по передаче электрической энергии по сетям Республики Хакасия на 2022 год [Электронный ресурс]: Приказ государственного комитета энергетики и тарифного регулирования Республики Хакасия от 29 декабря 2021 года N 10-э. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/561698099> (дата обращения 25.05.2022).

20. Пункты распределительные ПР8501 и ПР8804 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://darsteel.ru/products/punkty-raspredelitelnyye-pr8501/> (дата обращения 25.05.2022).

21. Шинопроводы распределительные ШРА - 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kmp163.ru/catalog/k-4281549-shinoprovy_raspredelitelnyye_shra_4 (дата обращения 25.05.2022).

22. Кабели с пластмассовой изоляцией АВВГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elmarts.ru/catalog/avvg/> (дата обращения 25.05.2022).

23. Автоматические выключатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://grantek-svet.ru/catalog/avtomaticheskij_vyklyuchatel.php (дата обращения 25.05.2022).

24. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение: Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: РадиоСофт, 2013. – 328 с.

25. 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.

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

Отпечатано в 1 экземпляре.

Библиография 25 наименований.

«_____» _____
(дата)

(подпись)

А. В. СЫТНИК
(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»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Коловский А. В. Коловский
подпись инициалы, фамилия
« 24 » июня 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код - наименование направления

Реконструкция схемы электроснабжения системы вентиляции участка ВС-6
рудника «Таймырский» г. Норильск
тема

Руководитель

Платонова
подпись, дата

доцент, к.т.н.
должность, ученая степень

Е. В. Платонова
инициалы, фамилия

Выпускник

Сытник
подпись, дата

А. В. Сытник
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

Кычкова
подпись, дата

И. А. Кычкова
инициалы, фамилия

Абакан 2022