

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)
Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Электроснабжение подготовительного производства обогатительной
фабрики _____

Студент Д.В. Хлопушина _____ (личная подпись)
(И.О. Фамилия)
Руководитель к.п.н, доцент, М.Н. Третьякова _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Аннотация

Выпускная квалификационная работа направлена на обеспечение энергосбережения на обогатительной фабрике за счет реконструкции ее системы электроснабжения.

Для реализации реконструкции в данной работе был произведен расчет электроснабжения подготовительного производства обогатительной фабрики, спроектирована система внутриводского электроснабжения: выбрано напряжение для силовой и осветительной сети, рассчитаны электрические нагрузки, проведен светотехнический расчет помещения, выбраны трансформаторы на ГПП, выбраны силовые кабели, проверены на аварийную перегрузку, спроектирована молниезащита.

Проблема энергосбережения на обогатительной фабрике решается за счет установки устройств компенсации реактивной мощности. В качестве устройств компенсации применяются конденсаторные установки типа УКЛ(П)56-10,5-2700 У1, выпускаемые отечественным предприятием ООО «Электропоставка».

Выпускная квалификационная работа состоит из 77 страниц, в том числе содержит 31 таблицу, 9 рисунков, 26 источников.

Графическая часть представлена на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Анализ технологических процессов и требований к системе электроснабжения обогатительной фабрики	6
1.1 Характеристика технологического процесса	5
1.2 Назначение категорийности электроприемников.....	7
1.3 Выбор напряжения для силовой распределительной сети.....	9
2 Расчет электрических нагрузок, выбор и проверка электрооборудования.....	10
2.1 Проектирование электроснабжения ППОБ.....	10
2.2 Определение электрических нагрузок цехов предприятия	22
2.3 Определение осветительной нагрузки	26
2.4 Составление картограммы нагрузок предприятия	30
2.5 Компенсация реактивной мощности.....	34
2.6 Расчет распределительной сети предприятия.....	37
2.7 Выбор числа и предварительной мощности трансформаторов ГПП.....	44
2.8 Расчет токов короткого замыкания.....	47
2.9 Выбор электрических аппаратов и проводников	56
3 Расчет заземляющих устройств для ППОБ.....	67
Заключение	70
Список используемых источников.....	71

Введение

Горнодобывающая промышленность является одной из важнейших сфер производства, т.к. за счёт её широких и разнообразных направлений огромное количество предприятий страны обеспечивается всеми необходимыми ресурсами. При этом большинство предприятий данной отрасли сталкиваются с серьёзными экономическими трудностями.

Тяжелое финансовое состояние промышленности ставит перед руководителями предприятий задачу минимизации больших экономических затрат. К наиболее эффективным мерам в этом направлении можно отнести сбережение электроэнергетических ресурсов, что позволяет уменьшить энергоёмкость выпускаемой продукции. Результатами данных мероприятий являются снижение себестоимости готового продукта и повышение его конкурентоспособности на рынке. Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным решением будет совокупность экономических и технических решений при разработке систем электроснабжения с использованием энергосберегающих технологий.

Технически-обоснованные решения при создании систем электроснабжения позволят исключить появление недопустимых отклонений величин электроэнергии, неравномерное распределение токов по фазам, повышение стоимости ремонтных, монтажных и эксплуатационных работ. В совокупности это позволит положительно повлиять на производительность предприятия и качество продукции. Основная трудность при решении вопроса о проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий приходится на оптимальную и рациональную реализацию всех заявленных критериев.

Цель выпускной квалификационной работы (ВКР) – осуществить энергосбережение на обогатительной фабрике за счёт реконструкции системы электроснабжения подготовительного производства.

1 Анализ технологических процессов и требований к системе электроснабжения обогатительной фабрики

1.1 Характеристика технологического процесса

Обогатительная фабрика – это предприятие, входящее в отрасль горнодобывающей промышленности, являющееся одним из первичных промежуточных звеньев в механизме добычи полезных ископаемых и использования их полезных качеств, которые, в свою очередь, представляют собой техническую ценность для дальнейшего промышленного использования.

Именно на обогатительные фабрики доставляется добытая руда, для обогащения твёрдых полезных ископаемых, из которых, как правило, получают металлургический концентрат, в котором содержание полезного компонента или компонентов намного выше, чем в первичном сырье, что является более приемлемым вариантом для дальнейшей переработки и транспортировки. Также при обогащении получают продукты, которые не нуждаются в дальнейшей переработке, такие как графит, асбест и известняк.

Обогатительные комбинаты характеризуются значительной энергоёмкостью и высокими стандартами надежности передачи электроэнергии, в связи с этим, для выполнения условий по ранжированию электроснабжения цеха обогатительной фабрики отнесены в основном к 1-й, 2-й категориям. Мощности и технические условия энергопотребления будут во много определяться техсхемами, видами используемого сырья и прочее.

Подготовительное производство на нынешних обогатительных фабриках – высокоиндустриальное и автономное предприятие, которое ставит перед собой целью автоматизации техпроцессов на производстве и для реализации этой цели используются системы автоматического контроля за производственными процессами. Наиболее подробно автоматизация

обогачительных фабрик реализуется в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП) и предприятием (АСУП).

Обогащение природных ископаемых – совокупность процессов начальной обработки минерального сырья, имеющая своей целью отделение всех необходимых минералов от пустой породы, а также взаимное разделение нужных минералов. При насыщении можно получить как готовые товарные продукты (известняк, асбест, графит и др.), так и их концентраты, необходимые для грядущего преобразования как химического, так и металлургического. Обогащение – наиболее важное переходное звено между добыванием полезных ископаемых и применением извлекаемых веществ. Операции обработки, которым подвергают на обогачительной фабрике горную массу, подразделяют: предварительные (собственно обогачительные); предварительные, дополнительный.

К примеру, есть: гравитационное, магнитное, электрическое, флотационное, бактериальное и другие методы обогащения.

1) Предварительные этапы – это этапы, которые важны для переработки начальных фракций зерен полезных минералов используемого сырья, вводящие в состав добываемого рабочего материала, и ранжируют по размеру и составу, соответствующие последующим этапам переработки материала, определяемые общим технологическим процессом предприятия. К группе подготовительных этапов также можно включить процессы грохочения, дробления, разбиения фракций материала на меньшие размеры.

2) Главные (природообогачительные) процессы предназначены для расщепления первичного минерального продукта с раскрытого или открытого зёрна полезного компонента на соответствующие фабрикаты. В итоге основных этапов полезные компоненты представляют в виде концентратов, а породные минералы уничтожают в виде утиля, который отправляют в отвал. В процессах обогащения используют разницу минералов

необходимого компонента и пустой породы в плотности, магнитной восприимчивости смачивании, электропроводности, использовании крупного размера, образ зёрен, химических характеристик и так далее.

3) Завершающие мероприятия в схемах изменения полезных ископаемых необходимы, обычно, для уменьшения влажности до кондиционной ступени. Главные завершающие мероприятия – повышение концентрации пульпы, просушивание и сушка фабрикатов обогащения.

Кроме технологических процессов, для закономерного функционирования обогатительного предприятия необходимо предусмотреть этапы производственного обслуживания: внутри цеха перевозки ископаемого и составных частей его переработки, обеспечение предприятия водой, электрической энергией, теплом, технологического контроля качества сырья.

1.2 Назначение категорийности электроприемников

Классификация помещений, задействованных в технологических процессах по требованиям бесперебойности электроснабжения, представлена в таблице 1 согласно [1].

Таблица 1 – Классификация производственных помещений и цехов

Наименование цехов	Категория	Характеристика помещений	Взрыво-пожароопасность	
			ПУЭ	СНиП
1. Склад	III	Пыльное	-	Д
2. Котельная	II	Влажное, жаркое	-	Д
3. Пульпонасосная	II	Влажное	-	Д
4. Склад сульфидных руд	III	Пыльное	-	Д
5. ППОБ	III	Нормальное	-	Д

Продолжение таблицы 1

6.	Подготовительное производства	I	Нормальное	-	Д
7.	Дробильно-промывочный цех	II	Влажное	-	Д
8.	Насосная станция	II	Влажное	-	Д
9.	Сушильный цех (10 кВ)	II	Жаркое	-	Д
10.	Дробильное отделение сульфидного цеха	II	Пыльное	-	Д
11.	Дробильный цех	II	Пыльное	-	Д
12.	Цех мокро-магнитной сепарации	II	Нормальное	-	Д
13.	Шламонасосная (10 кВ)	II	Влажное	-	Д
14.	Управление фабрики	II	Нормальное	-	Д
15.	Столовая	III	Нормальное	-	Д

1.3 Выбор напряжения для силовой распределительной сети

Для проектируемого подготовительного производства обогатительной фабрики (далее ППОБ) [2] применяется напряжение 380/220 В с промышленной частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью. Система напряжений 380/220 В является наиболее распространенной для питания асинхронных двигателей.

Достоинства напряжения 380/220 В:

1. Питание осветительных приборов возможно производить совместно с силовыми электроприемниками с одного трансформатора;
2. С точки зрения электробезопасности – это напряжение применять выгодно, т.к. при этом напряжение между фазой и землей ниже.

Выводы к разделу 1

Выявлено, что электрооборудование подготовительного производства обогатительной фабрики (ППОБ) относится к первой категории по требованиям бесперебойности электроснабжения.

Система электроснабжения ППОБ должна выполняться на напряжение 380/220 В с промышленной частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью.

Для разработки системы электроснабжения подготовительного производства обогатительной фабрики и достижения цели выпускной квалификационной работы планируется решение следующих основных задач:

- Расчет электрических нагрузок ;
- Выбор и проверка электрооборудования;
- Расчет заземляющих устройств для подготовительного производства обогатительной фабрики.

2 Расчет электрических нагрузок, выбор и проверка электрооборудования

2.1 Проектирование электроснабжения ППОБ

2.1.1 Характеристика электроприемников ППОБ

Все электроприемники ППОБ относятся к третьей категории надежности электроснабжения.

В качестве потребителей ППОБ представлены:

1. Металлорежущие станки. Режим работы станков в основном повторно-кратковременный.

2. Подъемно-транспортные механизмы ППОБ представлены: кран-балками и электрическими талями. Мощность приводов подъемных устройств зависит от условий производства и соответственно от их типа. Режим работы повторно-кратковременный.

3. Вентиляторы. Электропривод вентиляторов имеет широкий диапазон мощностей. Режим работы продолжительный.

4. Электрические печи. Применяются при термообработке металлических изделий, сушки, нагрева. Являются однофазной нагрузкой, в связи, с чем возникает необходимость равномерного их распределения по фазам, во избежание несимметрии трехфазной системы.

5. Электросварочное оборудование. Электросварка широко применяется в различных отраслях промышленности. Для электросварки применяется как переменный ток промышленной частоты, так и постоянный ток от преобразователей частоты.

6. Осветительные установки. В качестве электрических источников света на предприятиях применяются: люминесцентные, газоразрядные лампы и лампы накаливания.

2.1.2 Расчет силовых электрических нагрузок

Будем производить вычисления используя метод коэффициента расчетной нагрузки согласно [4], [5].

Определяем нагрузку силового шкафа СЩ-4, шлифовального отделения, от которого питаются следующие электроприемники:

- плоскошлифовальный станок (42): $K_u = 0,25$; $\cos\phi = 0,65$; $\operatorname{tg}\phi = 1,17$; $n = 1$; $p_n = 3,0$ кВт;

- универсальный кругло-шлифовальный станок(45): $K_u = 0,14$; $\cos\phi = 0,6$; $\operatorname{tg}\phi = 1,33$; $n = 1$; $p_n = 4.6$ кВт;

- профилишлифовальный станок(46): $K_u = 0,25$; $\cos\phi = 0,65$; $\operatorname{tg}\phi = 1,17$; $n = 2$; $p_n = 2.25$ кВт;

- координатно-шлифовальный станок(48): $K_u = 0,25$; $\cos\phi = 0,65$; $\operatorname{tg}\phi = 1,17$; $n = 2$; $p_n = 0.6$ кВт;

- резьбошлифовальный станок(49): $K_u = 0,25$; $\cos\phi = 0,65$; $\operatorname{tg}\phi = 1,17$; $n = 1$; $p_n = 4.9$ кВт.

Эффективное число электроприемников определяется по формуле:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum P_{\text{НОМ}})^2}{\sum n \cdot P_{\text{НОМ}}^2}, \quad (1)$$

где $\sum P_{\text{НОМ}}$ – суммарная номинальная мощность всех электроприемников данной группы, кВт;

Расчет для СЩ-4:

Суммарная номинальная мощность:

$$\sum P_{\text{НОМ}} = 3 + 4,6 + 2,25 \cdot 2 + 0,6 \cdot 2 + 4,9 = 18,2 \text{ кВт},$$

$$\sum n \cdot P_{\text{НОМ}}^2 = 9 + 21,16 + 10,125 + 0,72 + 24,01 = 65,015 \text{ кВт}^2,$$

Эффективное число:

$$n_{\text{э}} = \frac{(18,2)^2}{65,015} = 5,09. \quad (2)$$

Найденное значение $n_{\text{э}}$ нужно проверить на условия:

$$n_{\text{э}} < n,$$

$$\frac{P_{\text{НОМ.макс}}}{P_{\text{НОМ.мин}}} > 3,$$

где n – общее число электроприемников данной группы,

$P_{\text{НОМ.макс}}$ – номинальная мощность наиболее мощного ЭП группы,

$P_{\text{НОМ.мин}}$ – номинальная мощность наименее мощного ЭП группы.

$$n_{\text{э}} = 5 < n = 7,$$

$$\frac{P_{\text{НОМ.макс}}}{P_{\text{НОМ.мин}}} = \frac{4,9}{0,6} = 8,2 > 3.$$

Условия выполняются, поэтому найденное значение $n_{\text{э}} = 5$

Групповой коэффициент использования определяется по формуле:

$$K_{и} = \frac{\sum k_{и} \cdot P_{НОМ}}{\sum P_{НОМ}}, \quad (3)$$

$k_{и}$ – коэффициент использования электроприемника.

$$K_{и} = \frac{0,14 \cdot (4,6) + 0,25 \cdot (3 + 2,25 \cdot 2 + 0,6 \cdot 2 + 4,9)}{18,2} = 0,22$$

По [5] определяется коэффициент расчетной нагрузки, в зависимости от $K_{и}=0,22$ и $n_{э}=5$:

$$K_p = 1,72.$$

Расчетная активная мощность определяется по формуле:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_{и} P_{НОМ}, \quad (4)$$

$$P_p = 1,72 \cdot 4,044 = 6,95 \text{ кВт.}$$

В случае, если расчетная мощность P_p окажется меньше номинальной наиболее мощного электроприемника, то

$$P_p = P_{НОМ.max}. \quad (5)$$

Расчетная реактивная мощность определяется по формуле:

$$\text{при } n_{э} \leq 10 \quad Q_p = 1.1 \cdot \sum K_{и} \cdot P_{НОМ} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

$$\text{при } n_3 > 10 \quad Q_p = \sum K_{\text{и}} \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot \text{tg}\varphi.$$

$n_3 < 10$, по формуле:

$$Q_p = 1,1 \cdot 4,83 = 5,3 \text{ кВАр}$$

Расчетную мощность рассчитаем исходя из выражения:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (6)$$

$$S_p = \sqrt{6,95^2 + 5,3^2} = 8,75 \text{ кВА.}$$

Рабочий ток может быть найден по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (7)$$

где U_H – номинальное напряжение цеховой сети, кВ.

$$I_p = \frac{8,75}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 13,29 \text{ А.}$$

Результаты этого и последующих расчетов трехфазной нагрузки сводится в таблицу 8

2.1.3 Проектирование осветительной установки ПШОБ

3.4.1 Светотехнический расчет

Расчетная высота:

$$h = H - h_c - h_p, \quad (13)$$

где H – высота помещения, м;

h_c – расстояние светильников до потолка, м;

h_p – высота рабочей поверхности над полом, м;

h_n – высота светильника над полом, м.

$$h = 10 - 0,7 - 0,5 = 8,8 \text{ м.}$$

В зависимости от формы кривой:

$$\lambda = \frac{L}{h}, \quad (14)$$

где L – эквивалентное расстояние между светильниками, м;

λ – разрыв между светильниками (кривая силы света-равномерная, $\lambda=1$).

$$L = \lambda \cdot h = 1 \cdot 8,8 = 8,8 \approx 9 \text{ м.}$$

При $L_a = 9$ м в ряду можно разместить шесть светильников.

Принимается число рядов светильников равным двум.

$$l = \left(\frac{1}{2} \div \frac{1}{3} \right) L = 3 \div 4,5$$

Таблица 3 – Расположение светильников в механическом отделении

$L_a, \text{ м}$	$l_a, \text{ м}$	$L_b, \text{ м}$	$l_b, \text{ м}$
9	4,5	9	4,5

Таблица 4 – Расположение светильников в кузнечно-термическом отделении

$L_a, \text{ м}$	$l_a, \text{ м}$	$L_b, \text{ м}$	$l_b, \text{ м}$
8	3,5	9	4,5

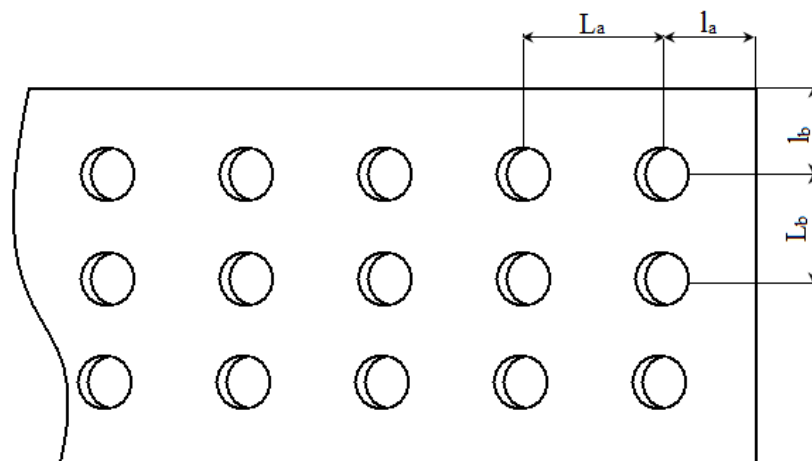


Рисунок 3 – Расположение светильников относительно друг друга

Размеры механического участка:

Длина - $A = 54 \text{ м.}$;

Ширина - $B = 18 \text{ м.}$;

Площадь - $S = 972 \text{ м}^2$;

Индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (15)$$

где A и B – длина и ширина помещения, м.

$$i = \frac{54 \cdot 18}{8,8 \cdot (54 + 18)} = 1,53.$$

Выбираем ближайшее стандартное значение $i=1,5$.

Принимаем минимальную освещенность: $E_{min} = 300$ лк.

Принимаем коэффициенты отражения поверхностей:

$$r_{\text{п}} = 50\%, \quad r_{\text{с}} = 30\%, \quad r_{\text{рп}} = 10\%.$$

Согласно [15] величина коэффициента использования светового потока:

$$K_{\text{и}} = f(i) = 1,5; \quad p_{\text{п}} = 0,5; \quad p_{\text{с}} = 0,3; \quad p_{\text{р}} = 0,1; \quad H = 10 \text{ м}) = 0,68.$$

Световой поток одной лампы:

$$F_{\text{л}} = \frac{E_{min} \cdot k_{\text{з}} \cdot S \cdot z}{N \cdot K_{\text{и}}}, \quad (16)$$

где E_{min} – минимальная освещенность, лк;

$k_{\text{з}}$ – коэффициент запаса;

S – площадь помещения, м²;

z – коэффициент минимальной освещенности;

$K_{\text{и}} = 0,68$ – коэффициент использования;

N – количество светильников.

$$F_{л} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 54 \cdot 18 \cdot 1,15}{12 \cdot 0,68} = 61643 \text{ лк.}$$

Выбираем лампы: ДРИ 700-5, $F_{ст} = 59000$ лк.

Условие проверки:

$$-0,1 < \Delta F = \frac{F_{ст} - F_{л}}{F_{ст}} < 0,2, \quad (17)$$

Проверка:

$$\Delta F = \frac{59000 - 61643}{59000} \cdot 100\% = -4,4\%,$$

$-10\% < -4,4\% < 20\%$ условие выполняется.

Светильник РСП 44-700.001 У2

$$P_{н} = 12 \cdot 700 = 8400 \text{ Вт}$$

3.4.2 Электрический расчет

Составим схему питания осветительной установки.

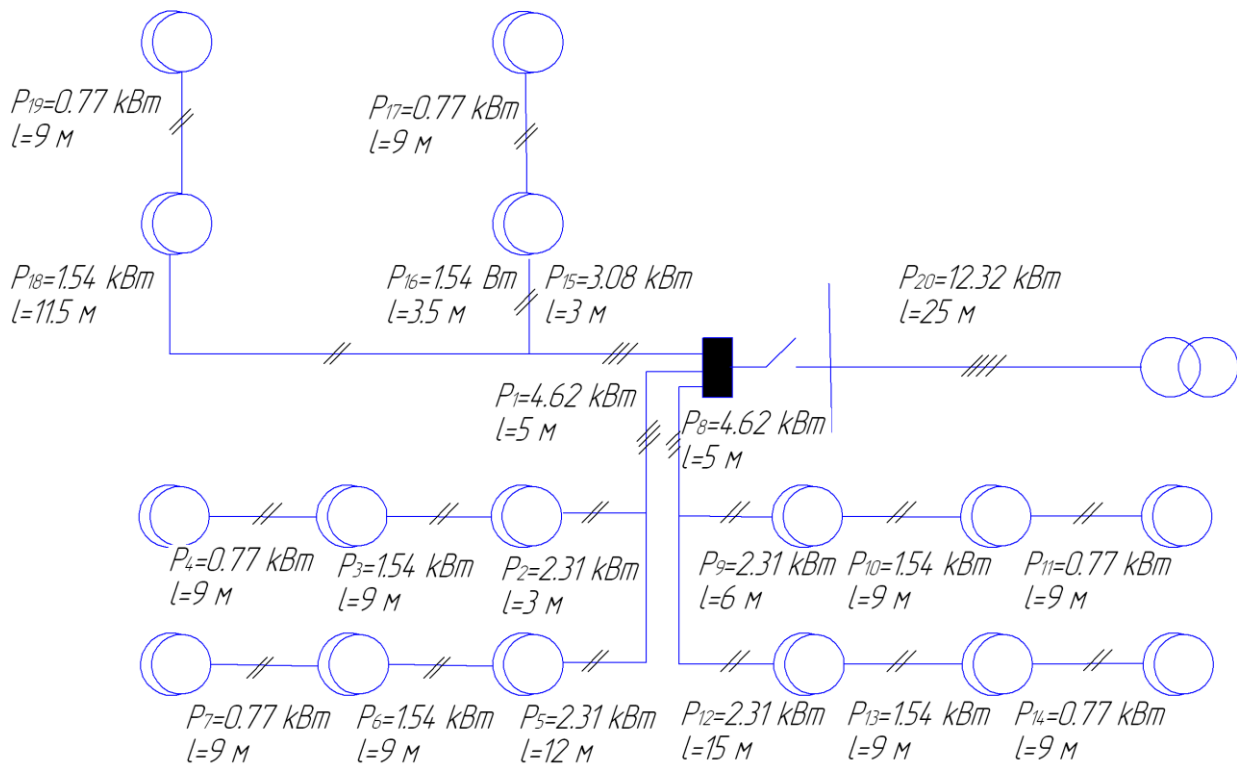


Рисунок 4 – Электрическая схема освещения

Расчет для участка 1:

Расчетная мощность:

$$P_{p01} = 6 \cdot 700 \cdot 1,1 \cdot 1 = 4620 \text{ Вт.}$$

Момент:

$$M_1 = 4620 \cdot 13 = 60,06 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

$$m_4 = 0,77 \cdot 9 = 6,93; m_3 = 1,54 \cdot 9 = 13,86; m_2 = 2,31 \cdot 3 = 6,93;$$

$$m_5 = 2,31 \cdot 12 = 27,72 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

Приведенный момент:

Принимаем по [5] для трехпроводной линии и двухпроводного ответвления $\lambda=1,33$.

$$M_{\text{прив.1}} = M_1 + 1,33 \cdot (2(m_4 + m_3) + m_2 + m_5), \text{кВт} \cdot \text{м}. \quad (19)$$

$$M_{\text{прив.1}} = 60,06 + 1,33 \cdot (2 \cdot (6,93 + 13,86) + 6,93 + 27,72) = 161,44 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

Расчетное сечение провода, по формуле (11):

$$S = \frac{161,44}{19,5 \cdot 2,5} = 3,3 \text{ мм}^2$$

где по [15] $C=19,5$ для двухфазной с нулем сети.

Округляется полученное сечение до большего стандартного значения:

$$S_{\text{ст}} = 6 \text{ мм}^2$$

Потери напряжения:

$$\Delta U_{\text{фи}} = \frac{161,44}{19,5 \cdot 6} = 1,32\%$$

Располагаемые потери напряжения, по формуле (14)

$$\Delta U_{\text{расп}} = 2,5 - 1,32 = 1,18\%$$

Расчетный ток, по формуле (18):

$$I_p = \frac{4,62 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,6} = 11,71 \text{ А.}$$

$$11,71 \text{ А} < 35 \text{ А}$$

Результаты расчета для остальных участков сведены в таблицу 5

Таблица 5 – Результаты расчета

Участок	1	2	3	4	5	6	7	8
$l, \text{ м}$	13	3	9	9	12	9	9	13
P_{po}	4620	2310	1540	770	2310	1540	770	4620
$M, \text{ кВт} \cdot \text{ м}$	60,06	6,93	13,86	6,93	27,72	13,86	6,93	60,06
$M_{\text{прив1}}, \text{ кВт} \cdot \text{ м}$	161,44	27,72	20,79	6,93	48,51	20,79	6,93	161,44
$S_{\text{расч}}, \text{ мм}^2$	3,3	1,62	1,12	0,374	2,62	1,12	0,374	3,3
$S_{\text{прин}}, \text{ мм}^2$	6	2,5	2,5	2,5	6	2,5	2,5	6
$I_{\text{доп}}, \text{ А}$	35	21	21	21	35	21	21	35
$I_{\text{расч}}, \text{ А}$	11,71	10,1	6,73	3,37	10,1	6,73	3,37	20,2
$\Delta U_{\phi i}, \%$	1,32	1,62	1,12	0,374	1,09	1,12	0,374	1,32
Участок	9	12	15	16	17	18	19	20
$l, \text{ м}$	6	15	11	3,5	9	11,5	9	25
P_{po}	2310	2310	3080	1540	770	1540	770	12320
$M, \text{ кВт} \cdot \text{ м}$	13,86	34,65	33,88	5,93	6,93	17,71	6,93	308
$M_{\text{прив1}}, \text{ кВт} \cdot \text{ м}$	27,72	48,51	102,19	12,86	6,93	24,64	6,93	898,85
$S_{\text{расч}}, \text{ мм}^2$	1,49	2,62	2,1	0,69	0,374	1,41	0,375	8,17
$S_{\text{прин}}, \text{ мм}^2$	2,5	6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	10
$I_{\text{доп}}, \text{ А}$	21	35	21	21	21	21	21	60
$I_{\text{расч}}, \text{ А}$	10,1	10,1	13,47	6,73	3,37	6,73	3,37	53,89
$\Delta U_{\phi i}, \%$	1,49	1,09	2,1	0,69	0,374	1,41	0,375	2,04

Всю осветительную установку выполняем медными трех жильными кабелями с оболочкой из поливинилхлоридного пластика, плоский. марки ПНУП 4х1,5.

2.2 Определение электрических нагрузок цехов предприятия

2.2.1 Определение низковольтных нагрузок

Используя метод коэффициента спроса, определим значение расчетных нагрузок на производственных помещениях с рабочим напряжением менее 1 кВ.

Согласно приведенному ниже выражению, определим значения мощности производственных потребителей:

$$P_p = K_c \cdot P_n ; Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi \quad (20)$$

где P_n – суммарная установленная мощность всех приемников цеха, которая принимается по исходным данным;

K_c – средний коэффициент спроса, принимаемый по таблице [14];

$\operatorname{tg} \phi$ – соответствующий характерному для приемников данного цеха средневзвешенному значению коэффициента мощности.

Приведем расчет средней мощности производственного помещения (цех №1) – склад, остальные цеха будут рассчитаны аналогично, расчеты представлены в таблице 8.

$$P_p = 40 \cdot 0,2 = 8 \text{ кВт}; Q_p = 8 \cdot 1,73 = 13,86 \text{ кВт};$$

Для ПШОБ расчетная активная и реактивная нагрузки, берутся из таблицы А1 (Приложение А) и подставляются в соответствующие графы таблицы 8.

Таблица 8 – Расчетные нагрузки

№	Наименование цеха	Категория	Руст, кВт	Кс	cos φ	tg φ	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	γ, кВт/м2	F, м2	Рр(уд), кВт	σт	Рр(σ), кВт
1	Склад	3	40	0,2	0,50	1,73	8,00	13,86	16,00					
2	Котельная	2	200	0,2	0,75	0,88	40,00	35,28	53,33					
3	Пульпонасосная	2	80	0,9	0,80	0,75	72,00	54,00	90,00					
4	Склад сульфидных руд	3	800	0,6	0,50	1,73	480,00	831,38	960,00	0,40	1425,00	570,00		
5	ПШОБ	3					203,48	233,51	309,73	0,30	2916,00	874,80	25,63	199,19
6	Цех обогащения	1	3200	0,7	0,75	0,88	2240,00	1975,49	2986,67	0,42	4895,00	2055,90	529,69	3220,60
7	Дробильно-промывочный цех	2	700	0,6	0,80	0,75	420,00	315,00	525,00	0,42	700,00	294,00		
8	Насосная станция	2	120	0,8	0,80	0,75	96,00	72,00	120,00					
10	Дробильное отделение сульфидного цеха	2	1100	0,7	0,80	0,75	770,00	577,50	962,50	0,40	5104,00	2041,60		
11	Дробильный цех	2	2400	0,6	0,75	0,88	1440,00	1269,96	1920,00					
12	Цех мокро-магнитной сепарации	2	1500	0,7	0,80	0,75	1050,00	787,50	1312,50	0,30	5600,00	1680,00		
13	Управление фабрики	2	120	0,6	0,70	1,02	72,00	73,45	102,86					
14	Столовая	3	250	0,4	0,70	1,02	100,00	102,02	142,86					
15	Итого		9390				6991,48	6340,95	9501,45					

2.2.2 Определение высоковольтных нагрузок

К высоковольтной нагрузке можно отнести синхронные двигатели рабочим напряжением 10000 В, которые располагаются в компрессорной и холодильной установках.

Вычислим, используя метод коэффициента загрузки, учитывая следующие допущения при расчете.

1) Вместо коэффициента использования используем значение коэффициента загрузки.

2) Эффективное число электроприемников не берется во внимание и соответственно не будет определено.

3) Выражения для определения расчетной нагрузки, выразим как:

$$P_p = K_z \cdot P_{ном} \quad (24)$$

где K_z – коэффициент загрузки, принимаем равным 0,9;

$\cos\varphi$ – взят из [17].

Для пульпонасосной по [17] выбираем 2 СД марки СТДМ – 2000 – 23УХЛ4 с техническими данными, $\cos\varphi=0.9$; $\operatorname{tg}\varphi = 0.48$, $P_n = 2000$ кВт:

$$P_p = 0.9 \cdot 4000 = 3600 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 3600 \cdot 0.48 = 1728 \text{ кВар};$$

$$S_p = \sqrt{3600^2 + 1728^2} = 3993.24 \text{ кВА};$$

Для дробильно-промывочного цеха по [17] выбираем ДАО-2000-1000 10У1 с техническими данными, $\cos\varphi=0.9$; $\operatorname{tg}\varphi = 0.48$, $P_n = 2000$ кВт.

Для сушильного цеха выбираем СНОС-10.13.10/3И2 с техническими данными, $\cos\varphi=0.8$; $\operatorname{tg}\varphi = 0.48$, $P_n = 1200$ кВт.

Для насосной станции и дробильного отделения выбираем ДАЗО 4-560Х-4ДУ1, ДАЗО 4-560Х-6ДУ1 с техническими данными, $\cos\varphi=0.85$; $\operatorname{tg}\varphi = 0.62$, $P_n = 1500$ кВт, $P_n = 1000$ кВт.

Для цеха мокро-магнитной сепарации СМБМ-2.

Для шламонасосной ДАЗО 4-560Х-6ДУ1 с техническими данными, $\cos\varphi=0.85$; $\operatorname{tg}\varphi = 0.62$, $P_n = 1000$ кВт

Результаты расчетов сводим в таблицу 9.

Таблица 9 – Определение расчетной высоковольтной нагрузки

№	Наименование цеха	$P_{уст}$, кВт	K_3	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
3	Пульпонасосная	4000	0.9	0.9	0.48	3600	-1728	3993.24
7	Дробильно-промывочный цех	2000	0.9	0.85	0.62	1800	1116	2217.89
8	Насосная станция	2400	0.9	0.85	0.62	2160	1339.2	2541.47
9	Сушильный цех	1400	0.9	0.8	0.75	1260	945	1575
10	Дробильное отделение сульфидного цеха	2300	0.9	0.85	0.62	2070	1238.4	2435.57
12	Цех мокро-магнитной сепарации	2900	0.9	0.7	1.02	2610	2662.2	3728.19
13	Шламонасосная	830	0.9	0.85	0.62	747	463.14	878.92
Суммарная нагрузка						14247	6035.9	17370.28

2.3 Определение осветительной нагрузки

Расчет мощности осветительной нагрузки цехов предприятия и территории завода ведем методом удельной мощности осветительной нагрузки на единицу площади.

$$P_{p\text{ осв.}} = S \cdot P_{y\delta} \quad (25)$$

$$P_{p.\text{ав.}} = 0.05 \cdot P_{p.\text{осв.}} \quad (26)$$

$$Q_{p.\text{осв.}} = P_{p.\text{осв.}} \cdot \text{tg}\phi \quad (27)$$

где S – площадь помещения, м² (по генплану);

$P_{y\delta}$ – удельная нагрузка на производственную площадь, кВт/м², определяемая по таблице [14] в зависимости от площади цеха и типа светильника;

Значения для цеха №1:

$$P_{p\text{ осв}} = 1241 \cdot 0.0052 = 64.53 \text{ кВт.}$$

$$P_{\text{ав осв}} = 0.05 \cdot 64.53 = 3.22 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p\text{ осв}} = 0.33 \cdot 64.53 = 21.29 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{ав осв}} = 0.05 \cdot 21.29 = 1.06 \text{ кВар}$$

Результаты представлены в таблице 10.

4.4 Определение расчетной нагрузки по заводу

Суммарная расчетная активная нагрузка:

$$P_{P\text{ завода}} = \sum P_{\text{нн}} \cdot K_{\text{рм}} + \Delta P_T + \Delta P_L + P_{p\text{ осв}} + \sum P_{\text{вн}}, \quad (28)$$

где $\Sigma P_{\text{нн}}$ – суммарная расчетная активная нагрузка потребителей с номинальным напряжением 0,4 кВ таблица 8;

$$\Sigma P_{\text{нн}} = 7138.98 \text{ кВт};$$

$\Delta P_{\text{Т}} = 2\%$ от $\Sigma P_{\text{нн}}$ – потери активной мощности в трансформаторах;

$$\Delta P_{\text{Т}} = 0.02 \cdot 7138.98 = 142.78 \text{ кВт};$$

$\Delta P_{\text{Л}} = 3\%$ от $\Sigma P_{\text{нн}}$ – потери активной мощности в линиях электропередач;

$$\Delta P_{\text{Л}} = 0.03 \cdot 7138.98 = 214.17 \text{ кВт};$$

$P_{\text{р осв}}$ – осветительная нагрузка предприятия из таблицы 10;

$\Sigma P_{\text{вн}}$ – суммарная расчетная активная нагрузка потребителей с номинальным напряжением 10 кВ.

$$\Sigma P_{\text{вн}} = 14247 \text{ кВт}.$$

$K_{\text{рм}}$ – коэффициент разновременности максимумов нагрузки, $K_{\text{рм}} = 0.9$.

$$P_{\text{Р завода}} = 7138.98 \cdot 0.9 + 142.78 + 214.17 + 1126.79 + 14247 = 22155.82 \text{ кВт}$$

Суммарная расчетная реактивная нагрузка:

$$Q_{\text{Р завода}} = \Sigma Q_{\text{нн}} + \Delta Q_{\text{Т}} + \Delta Q_{\text{Л}} + Q_{\text{р осв}} + \Sigma Q_{\text{вн}}, \quad (29)$$

где $\Sigma Q_{\text{нн}}$ – суммарная расчетная реактивная нагрузка потребителей с номинальным напряжением 0,4 кВ из таблицы 8;

$$\Sigma Q_{\text{нн}} = 6519.33 \text{ квар};$$

$\Delta Q_{\text{Т}} = 10\%$ от $\Sigma Q_{\text{нн}}$ – потери реактивной мощности в трансформаторах;

$$\Delta Q_{\text{Т}} = 0.1 \cdot 6519.33 = 651.93 \text{ квар};$$

$\Sigma Q_{\text{вн}}$ – суммарная расчетная реактивная нагрузка потребителей с номинальным напряжением 10 кВ.

$$\Sigma Q_{\text{вн}} = 6035.9 \text{ квар}.$$

$\Delta Q_{Л} = 3\% \text{ от } \Sigma Q_{нн}$ – потери реактивной мощности в линиях электропередач;

$$\Delta Q_{Л} = 0.03 \cdot 6519.33 = 195.58 \text{ кВар};$$

$$Q_{р \text{ завода}} = 6519.33 + 651.93 + 195.58 + 6035.9 = 13402.74 \text{ кВар}$$

Суммарная нагрузка по заводу определяется по выражению:

$$S_p = \sqrt{22155.82^2 + 13402.74^2} = 25894.28 \text{ кВА}$$

Таблица 10 – Расчетная осветительная нагрузка цехов предприятия

№	Наименование цеха	Осветительная нагрузка										
		F, м ²	P _{уд.о.} , кВт/м ²	E, лк	тип ламп	cos φ	tg φ	P _{р.осв.} , кВт	P _{ав.осв.} , кВт	Q _{р.осв.} , квар	Q _{авосв.} , квар	S _{р. осв.} , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Склад	1241	0,0052	75	ЛЛ	0.95	0.33	64.53	3.22	21.29	1.06	
2	Котельная	816	0,0106	200	ДРЛ	0.6	1,33	8.65	0.43	11.5	0.57	
3	Пульпонасосная	1100	0,0159	300	ДРЛ	0.6	1,33	17.49	0.87	23.26	1.16	
4	Склад сульфидных руд	1425	0,0052	75	ЛЛ	0.95	0.33	7.41	0.37	2.44	0.12	
5	РМЦ	2916	0,0159	300	ДРЛ	0.6	1,33	46.36	2.32	61.65	3.08	
6	Цех обогащения	4895	0,0159	300	ДРЛ	0.6	1,33	77.83	3.89	103.5	5.17	
7	Дробильно-промывочный цех	700	0,0159	300	ДРЛ	0.6	1,33	11.13	0.55	14.8	0.74	
8	Насосная станция	2662	0,0159	300	ДРЛ	0.6	1,33	42.32	2.11	56.28	2.81	
9	Сушильный цех	648	0,0159	300	ДРЛ	0.6	1,33	10.3	0.51	13.69	0.68	
10	Дробильное отделение сульфидного цеха	5104	0,0159	300	ДРЛ	0.6	1,33	81.15	4.05	107.9	5.39	
11	Дробильный цех	623	0,0159	300	ДРЛ	0.6	1,33	9.9	0.49	13.16	0.66	
12	Цех мокро-магнитной сепарации	5600	0,0159	300	ДРЛ	0.6	1,33	89.04	4.45	118.4	5.92	
13	Шламонасосная	6384	0,0159	300	ДРЛ	0.6	1,33	101.5	5.07	134.9	6.75	
14	Управление фабрики	1852	0,0104	200	ЛЛ	0.95	0.33	19.26	0.96	6.35	0.32	
15	Столовая	2954	0,0104	200	ЛЛ	0.95	0.33	30.72	1.54	10.13	0.5	
Территория завода		96080	0,0053	75	ДРЛ	0.6	1,33	509.2	25.46	677.28	33.86	
Суммарная нагрузка освещения								1126.79		1376.53		1778.9

2.4 Составление картограммы нагрузок предприятия

Составление картограммы обогатительной фабрики включает в себя расстановку на территории производства или цеха окружности, сечение которых будет равна расчетным нагрузкам, при заданном масштабе. Определение площади активных нагрузок m_a , может быть определен из самого масштаба производства. В нашем расчете это $m_a = 0.1 \text{ кВт/м}^2$. ЦЕН определяет оптимальное расположение нагрузок на предприятии, ввиду чего расположение ГПП разумно выполнить максиматльно близко к этому центру. Такой расположение позволит получить выгоду при организации сетей 10 кВ, снизив тем самым расход на цветной металл.

Радиусы кругов определяются по формуле.

$$R = \sqrt{\frac{P_P + Q_P}{\pi \cdot m_a}}. \quad (30)$$

Для цеха №1:

$$R = \sqrt{\frac{8 + 13.86}{\pi \cdot 0.1}} = 8.34 \text{ м}$$

Окружности с полученными радиусами наносятся на план распределительных сетей предприятия. Для остальных цехов расчет ведется аналогично. Результаты расчетов сводятся в таблицу 10.

Координаты ЦЭН полной мощности:

$$X = \frac{\sum S_{pi} \cdot X_i}{\sum S_{pi}}; \quad Y = \frac{\sum S_{pi} \cdot Y_i}{\sum S_{pi}}; \quad (31)$$

$$X_{цэН} = 228.59 \text{ м}$$

$$Y_{цэН} = 139.44 \text{ м}$$

Для того, чтобы отобразить на картограмме нагрузок долю осветительной нагрузки для каждого цеха, необходимо найти угол сектора, который будет занимать активная и реактивная нагрузка на круге, изображающем расчетную нагрузку цеха. Угол нагрузки рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha_p = \frac{360 \cdot P_{Pi}}{P_{Pi} + Q_{Pi}} ; \alpha_Q = \frac{360 \cdot Q_{Pi}}{P_{Pi} + Q_{Pi}} \quad (32)$$

Для цеха №1:

$$\alpha_p = \frac{360 \cdot 8}{8 + 13.86} = 131.75$$

$$\alpha_Q = \frac{360 \cdot 13.86}{8 + 13.86} = 228.25$$

Остальные расчеты выполнены по аналогии и представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Данные для построения картограммы нагрузок

№	Наименование цеха	Yi	Xi	Pp, кВт	Qp, квар	Po, кВт	Qo, квар	Xa, м	Ya, м	Po+ Qo, кВт	Ri, м	ap,0	aq,0	Pp+Po, кВт	Qp+Qo, кВт	Sp	
1	Склад	64	277	8,00	13,86	6,45	2,12	228	140	8,57	3	132	228	14,45	15,98	21,55	
2	Котельная	225	152	40,00	35,28	8,65	11,53			20,18	5	191	169	48,65	46,81	67,51	
3	Пульпонасосная	225	152	72,00	54,00	17,49	23,32			40,81	7	206	154	89,49	77,32	118,27	
	Пульпонасосная (10кВ)			3600	- 1728,00					0,00	0	692	-332				
4	Склад сульфидных руд	132	228	480	831,38	7,41	2,44			9,85	3	132	228	487,41	833,82	965,82	
5	РМЦ	402	258	350,98	411,88	46,36	61,82			108,18	11	166	194	397,34	473,70	618,28	
6	Цех обогащения	133	108	2240	1975,49	77,83	103,77			181,60	14	191	169	2317,83	2079,26	3113,79	
7	Дробильно-промывочный цех	222	190	420,0	315,00	11,13	14,84			25,97	5	206	154	431,13	329,84	542,83	
	Дробильно-промывочный цех(10кВ)			1800,00	1116,00					0,00	0	222	138				
8	Насосная станция	232	96	96,00	72,00	42,33	56,43			98,76	10	206	154	138,33	128,43	188,76	
	Насосная станция (10кВ)			2160	1339,20					0,00	0	222	138				
9	сушильный цех (10кВ)	274	177	1260	945,00	10,30	13,74			24,04	5	206	154				
10	Дробильное отделение сульфидного цеха	101	185	770	577,50	81,15	108,20	189,36	14	206	154	851,15	685,70	1093,00			
	Дробильное отделение сульфидного цеха(10кВ)			2070	1238,40			0,00	0	225	135						
11	Дробильный цех	320	185	1440	1269,96	9,91	13,21	23,11	5	191	169	1449,91	1283,17	1936,17			
12	Цех мокро-магнитной сепарации	158	30	1050	787,5	89,04	118,7	208	15	206	154	1139	906,22	1455,6			
	Цех мокро-магнитной сепарации(10кВ)			2070,00	1238,40			0,00	0	225	135						

Продолжение таблицы 11

13	Шламонасосная(10кВ)	325	118	747,0 0	463,14	101,5 1	135,34			236, 85	16	222	138			
14	Управление фабрики	400	5	72,00	73,45	19,26	6,33			25,5 9	5	178	182	91,26	79,78	121,22
15	Столовая	425	104	100,0 0	102,02	30,72	10,10			40,8 2	7	178	182	130,72	112,12	172,22

2.5 Компенсация реактивной мощности

Устройства по компенсации реактивной мощности в первую очередь используются на предприятии для увеличения пропускной способности линий и значений передаваемой мощности в сетях, что благотворно скажется на потерях энергии в сети в целом и улучшит устойчивость и надежность работы электрооборудования.

Значение нормативного коэффициента реактивной мощности:

$$\operatorname{tg}\phi_{\text{э.н.}} = 0.4$$

Определяем экономическую реактивную мощность $Q_{\text{э}}$.

$$Q_{\text{э}} = P_p \cdot \operatorname{tg}\phi_{\text{э.н.}} \quad (39)$$

$$Q_{\text{э}} = 22027.42 \cdot 0.4 = 8810.97 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{э}} = 8810.97 < Q_p = 14889.85$$

Так как значение $Q_{\text{э}}$ меньше потребляемой реактивной мощности \bar{Q}_p , то делается вывод о необходимости установки средств компенсации реактивной мощности (КРМ) на обогатительной фабрике.

Максимальная величина реактивной мощности Q_T , передаваемая через трансформаторы в низковольтную сеть, с учетом K_3 :

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot S_T \cdot n \cdot K_3)^2 - P_p^2}, \quad (40)$$

где S_T – номинальная мощность трансформатора;
 n – число трансформаторов на подстанции;
 K_3 – коэффициент загрузки трансформаторов;
 P_p – расчетная активная нагрузка узла.

Расчет трансформаторно подстанции №1:

$$Q_T = \sqrt{(1.1 \cdot 1600 \cdot 2 \cdot 0.88)^2 - 865.61^2} = 867.81 \text{ квар.}$$

Определение мощности НБК:

$$Q_{н.к1} = Q_p - Q_T, \quad (41)$$

где Q_p – расчетная реактивная нагрузка узла.

$$Q_p = 1535.5 \text{ квар.}$$

$$Q_{н.к1} = 701.69 - 861.81 = -166.63 \text{ квар.}$$

Вывод: установка батареи конденсаторов на ТП №1 не требуется.

Расчет для остальных подстанций приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Определение мощности НБК

№ТП	n, шт	S _н , кВА	K _з	P _p , кВт	Q _p , квар	Q _T , квар	Q _{нк} , квар
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	630	0.88	865.61	701.69	867.81	-166.63
2,3	4	1600	0.6	2815.94	2494.35	3148.44	-654.09
4	2	1600	0.8	1910.92	1684.87	2049.82	-364.95
5	1	630	0.9	397.34	411.89	488.3	-76.41
6,7	3	630	0.83	1230.3	986	1222.38	-236.38
8	1	1600	0.83	487.1	833.82	944	-110.2

Должно выполняться условие:

$$Q_P - Q_{HK1} - Q_{CD} - Q_{\Sigma} = 0, \quad (42)$$

где Q_P – расчетная нагрузка предприятия.

$$Q_P = 14889.85 \text{ квар};$$

Q_{HK1} – суммарная реактивная мощность установленных низковольтных батарей конденсаторов. $Q_{HK1} = 0$ квар.

Q_{CD} – суммарная мощность синхронных двигателей, используемая для компенсации реактивной мощности (кроме мощности, учтенной при расчете нагрузок). $Q_{CD} = 0$ (так как мощность всех установленных СД учтена при расчете нагрузок);

Q_{Σ} – значение реактивной мощности, которое экономически эффективно получать из энергосистемы.

$$Q_{\Sigma} = 1465,792 \text{ квар}$$

$$Q_P - Q_{HK1} - Q_{CD} - Q_{\Sigma} = 14889.85 - 0 - 0 - 8810.97 = 4591.77 \text{ квар}..$$

$$P_p = K_p \cdot K_{\Sigma} \cdot P_{ном} > 0.$$

Значение потребляемой РМ на предприятии превышает количество РМ, получаемой от БНК, синхронных двигателей и энергосистемы, значит необходим дополнительный источник реактивной мощности. В качестве такового принимаются высоковольтные батареи конденсаторов. Установка ВБК производится на шины ГПП. Суммарная реактивная мощность ВБК распределяется на шинах ГПП пропорционально его некомпенсированной реактивной нагрузке и округляется до ближайшей стандартной мощности ККУ.

К установке принимаются ККУ типа УКЛ(П)56-10,5-2700 У1 с номинальной реактивной мощностью 2700 квар. Количество устанавливаемых ККУ – 2 штук. Таким образом, общая реактивная мощность генерируемая БВК составит: $\Sigma Q_{г.к} = 2700 \cdot 2 = 5400$ квар.

Полная расчетная нагрузка по заводу с учётом скомпенсированной реактивной мощности:

$$S_p = \sqrt{22027.42^2 + (14889.85 - 5400)^2} = 23984.67 \text{ кВА}$$

2.6 Расчет распределительной сети предприятия

2.6.1 Выбор трасс, марки, сечения и способа прокладки КЛ на стороне ВН

На момент проекта трассы КЛ, выбора способа прокладки, необходимо принять во внимание картограмму нагрузок и наличия площадей на предприятии, на котором присутствует возможность осуществления прокладки КЛ. Необходимо также учесть наличие железной дороги. В этом случае рекомендуется прокладка в блоках по [1]. Кабели с СПЭ-изоляцией прокладываются в кабельных каналах, а все остальные в траншее. Проход под железнодорожным полотном выполнен в блоках.

Питание электроэнергией предприятия будет осуществляться по радиально-магистральной схеме. Для питания КТП применяются кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена в оболочке из полиэтилена марки АПвПг, а для питания РУ на напряжении 0,4 кВ принимаем кабели марки АВВГ с изоляцией из поливинилхлорида, Все кабели прокладываем в герметизированных каналах. Линии, которые выполняют обеспечение энергией потребителей 2-й категории, осуществляются двухцепной линией.

Выбор сечения производится по экономической плотности тока:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{раб}}}{j_{\text{эк}}}, \quad (43)$$

где $F_{\text{эк}}$ – экономическое сечение проводника, мм²;

$j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока, А/мм², определяется в зависимости от числа часов использования максимума нагрузки, материала жилы и вида изоляции

Максимальный рабочий ток:

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{р}}}{n\sqrt{3}U_{\text{н}}}, \quad (44)$$

Так для кабеля от ГПП до ТП-1:

$$S_{\text{р}} = 2080.11 \text{ кВА}; n = 2; I_{\text{раб.}} = \frac{2080.11}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 60.04 \text{ А.}$$

Для кабелей с алюминиевыми жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена при $T_{\text{М}} = 7336,5\text{ч}$ принимаем $j_{\text{эк}} = 1,6 \text{ А/мм}^2$.

$$F_{\text{эк}} = \frac{60.04}{1.6} = 37.53 \text{ мм}^2. \text{ Принимаем ближайшее стандартное сечение}$$

$F_{\text{ст}} = 50 \text{ мм}^2$, $I_{\text{дл.доп}} = 170 \text{ А}$. Выбираем 3 одножильных кабеля с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвПг по [18].

Кабели на 0,4 кВ выбираются по нагреву:

Максимальный рабочий ток:

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n}, \quad (45)$$

Так для кабеля от ТП-1 до цеха-1:

$$S_p = 21.54 \text{ кВА}; n = 1; I_{\text{раб.}} = \frac{21.54}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,4} = 31.09 \text{ А.}$$

Принимаем кабель марки АВВГ стандартного сечения $F_{\text{ст}} = 25 \text{ мм}^2$,
 $I_{\text{дл.доп}} = 93 \text{ А.}$

Расчет для остальных кабелей приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Выбор кабельных линий по экономической плотности тока

Номинальное напряжение	Участок	S расч, кВА	U ном, кВ	n каб.	I расч, А	j эк, А/мм ²	F эк, мм ²	F, мм ²
10 кВ	гпп - тп1	1114,29	10	2	32,17	1,6	20,10	50
	гпп - тп 2	1955,67	10	2	56,46	1,6	35,28	50
	гпп - тп3	1955,67	10	2	56,46	1,6	35,28	50
	гпп - тп4	2226,62	10	2	64,28	1,6	40,17	50
	гпп - тп5	572,30	10	1	33,04	1,6	20,65	50
	гпп - тп6	1051,10	10	2	30,34	1,6	18,96	50
	гпп - тп7	525,55	10	1	30,34	1,6	18,96	50
	гпп - тп8	965,82	10	1	55,76	1,6	34,85	50
	гпп - 3	3760,00	10	2	108,54	1,6	67,84	95
	гпп - 7	1990,59	10	2	57,46	1,6	35,91	50
	гпп - 8	2388,71	10	2	68,96	1,6	43,10	50
	гпп - 9	1480,50	10	2	42,74	1,6	26,71	50
	гпп - 10	2289,18	10	2	66,08	1,6	41,30	50
	гпп - 12	3504,86	10	2	101,18	1,6	63,24	95
	гпп - 13	826,09	10	2	23,85	1,6	14,90	50
0,4 кВ	тп1 - 1	21,55	0,4	1	31,10	1,2	25,92	25
	тп3 - 2	67,51	0,4	2	48,72	1,2	40,60	50
	тп3 - 7	542,83	0,4	4	195,88	1,2	163,23	240
	тп3 - 8	188,76	0,4	2	136,22	1,2	113,52	240
	тп4 - 3	118,27	0,4	2	85,35	1,2	71,13	70
	тп4 - 15	172,22	0,4	2	124,29	1,2	103,57	240
	тп6 - 14	121,22	0,4	2	87,48	1,2	72,90	120

Выбранные кабели проверяют по допустимому току в аварийном режиме:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ав}}, \quad (46)$$

где $I_{\text{ав}}$ – ток в аварийном режиме (при отключении одного из кабелей);
 $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток с учетом поправочных коэффициентов;

Аварийным режимом является отключение одного кабеля:

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_{\text{раб}} \quad (47)$$

Длительно-допустимый ток определяется по следующему выражению:

$$I_{\text{доп}} = k_1 \cdot k_2 \cdot I_{\text{доп.ном}}, \quad (48)$$

где k_1 – поправочный коэффициент на число рядом проложенных в земле кабелей. Выбирается в соответствии с таблицей 9 [16], для АПвПг $k_1 = 1,0$ для 3 одножильных кабелей проложенных в кабельном канале в линию;

k_2 – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды. Выбирается в соответствии с таблицей 10 [26], $k_2 = 0,92$ для условной температуры среды 15°C , расчетной температуре среды 20°C и нормированной температуре жил 80°C для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Так для кабеля от ГПП до ТП -1:

$$I_{\text{доп}} = 1,0 \cdot 0,92 \cdot 170 = 156,4.$$

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_{\text{раб}}.$$

$$I_{\text{ав}} = 60,05 \cdot 2 = 120,1 \text{ А.}$$

$156,4 > 120,1$. Условие выполняется.

Если условие проверки не выполняется, то увеличиваем сечение кабеля и снова осуществляем проверку по допустимому току, пока выбранное сечение кабеля не будет удовлетворять условию проверки, делаем вывод, что кабели по допустимому току проходят.

Расчет для остальных кабелей приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Проверка кабелей по длительно-допустимому току

U _н , кВ	Участок	S расч, кВА	U ном, кВ	n каб.	I расч, А	j эк, А/мм ²	F эк, мм ²	F, мм ²	I доп, А	K _{ср}	I' доп, А	I ав, А	Марка
10	гпп - тп1	1114,29	10	2	32,17	1,6	20,10	50	170	0,92	156,4	64,33	АПвПг
	гпп - тп 2	1955,67	10	2	56,46	1,6	35,28	50	170	0,92	156,4	112,91	АПвПг
	гпп - тп3	1955,67	10	2	56,46	1,6	35,28	50	170	0,92	156,4	112,91	АПвПг
	гпп - тп4	2226,62	10	2	64,28	1,6	40,17	50	170	0,92	156,4	128,55	АПвПг
	гпп - тп5	572,30	10	1	33,04	1,6	20,65	50	170	0,92	156,4	66,08	АПвПг
	гпп - тп6	1051,10	10	2	30,34	1,6	18,96	50	170	0,92	156,4	60,69	АПвПг
	гпп - тп7	525,55	10	1	30,34	1,6	18,96	50	170	0,92	156,4	60,69	АПвПг
	гпп - тп8	965,82	10	1	55,76	1,6	34,85	50	170	0,92	156,4	111,52	АПвПг
	гпп - 3	3760,00	10	2	108,54	1,6	67,84	95	253	0,92	232,76	217,08	АПвПг
	гпп - 7	1990,59	10	2	57,46	1,6	35,91	50	170	0,92	156,4	114,93	АПвПг
	гпп - 8	2388,71	10	2	68,96	1,6	43,10	50	170	0,92	156,4	137,91	АПвПг
	гпп - 9	1480,50	10	2	42,74	1,6	26,71	50	170	0,92	156,4	85,48	АПвПг
	гпп - 10	2289,18	10	2	66,08	1,6	41,30	50	170	0,92	156,4	132,17	АПвПг
	гпп - 12	3504,86	10	2	101,18	1,6	63,24	95	253	0,92	232,76	202,35	АПвПг
гпп - 13	826,09	10	2	23,85	1,6	14,90	50	170	0,92	156,4	47,69	АПвПг	
0,4	тп1 - 1	21,55	0,4	1	31,10	1,2	25,92	25	93	0,92	85,56	62,20	АВВБ
	тп3 - 2	67,51	0,4	2	48,72	1,2	40,60	50	170	0,92	140,76	97,45	АВВБ
	тп3 - 7	542,83	0,4	4	195,88	1,2	163,23	240	475	0,92	393,3	391,76	ВВБ
	тп3 - 8	188,76	0,4	2	136,22	1,2	113,52	240	380	0,92	314,64	272,45	АВВБ
	тп4 - 3	118,27	0,4	2	85,35	1,2	71,13	70	210	0,92	173,88	170,70	АВВБ
	тп4 - 15	172,22	0,4	2	124,29	1,2	103,57	240	380	0,92	314,64	248,57	АВВБ
	тп6 - 14	121,22	0,4	2	87,48	1,2	72,90	120	224	0,92	185,472	174,96	АВВБ

2.7 Выбор числа и предварительной мощности трансформаторов ГПП

Число трансформаторов, необходимое к установке на главной понизительной подстанции определяется составом нагрузки, а именно категорией потребителей. В нашем случае присутствуют потребители 1 и 2 категорий, что дает нам основание использовать 2 силовых трансформатора.

Необходимую мощность трансформаторов, устанавливаемых на ГПП, будем определять, по среднеквадратичной мощности, используя ГЭН.

Определяем среднюю квадратичную нагрузку по графику характерных зимних суток:

$$S_{ск} = \sqrt{\frac{\sum_i^k S_i^* \cdot t_i}{\sum_i^k t_i}} \quad (49)$$

где S_i^* – мощность ступени в относительных единицах;

t_i – продолжительность ступени в часах;

k – количество ступеней графика.

$$S_{ск} = \sqrt{\frac{1^2 \cdot 3 + 0,95^2 \cdot 3 + 0,9^2 \cdot 5 + 0,85^2 \cdot 3 + 0,8^2 \cdot 4 + 0,75^2 \cdot 1 + 0,7^2 \cdot 2 + 0,65^2 \cdot 1 + 0,6^2 \cdot 2}{24}} = 0,85$$

Ориентировочная мощность трансформатора

$$S_{оп} = \frac{S_{ск} \cdot S_p}{n} \quad (50)$$

где S_p – полная расчетная нагрузка по заводу с учётом скомпенсированной реактивной мощности

$$S_{op} = \frac{0.85 \cdot 23556.83}{2} = 10011.65 \approx 10 \text{ МВА}$$

Исходя из ориентировочной мощности, примем мощность устанавливаемого силового трансформатора ближайшей большей. В результате на ГПП устанавливаем два трансформатора типа ТДН – 10000/110/10.

Выполним проверку на систематическую перегрузку.

$$K_{nm}^* = \frac{10000 \cdot 2}{23556.83} = 0.85.$$

Т.к. $K_{nm}^* < 1$, то трансформаторы не проходят по систематической перегрузке.

К установке, исходя из вышеуказанных критериев, будет приняты два трансформатора типа ТДН – 16000/110/10.

Выполним проверку на систематическую перегрузку

.

$$K_{nm}^* = \frac{16000 \cdot 2}{23556.83} = 1.35.$$

Т.к. $K_{nm}^* > 1$, то трансформаторы проходят по систематической перегрузке.

Проверка трансформаторов на аварийную перегрузку.

$$K_{nm\text{ ав}}^* = \frac{16000}{23556.83} = 0.68$$

На суточный зимний график нагрузки наносится линия, параллельная оси абсцисс с ординатой равной величине $K_{н.т.ав}^*$. По пересечению графика нагрузок и линии $K_{н.т.ав}^*$ определяется время аварийной перегрузки $t_{нав} = 21$ ч.

Определяется коэффициент начальной загрузки в аварийном режиме $K_{1ав}$:

$$K_{1ав} = \frac{1}{0.68} \cdot \sqrt{\frac{0.65^2 \cdot 1 + 0.6^2 \cdot 2}{3}} = 0.909.$$

Определяется коэффициент аварийной перегрузки $K_{2ав}$:

$$K_{2ав} = \frac{1}{0.68} \cdot \sqrt{\frac{1^2 \cdot 3 + 0,95^2 \cdot 3 + 0,9^2 \cdot 5 + 0,85^2 \cdot 3 + 0,8^2 \cdot 4 + 0,75^2 \cdot 1 + 0,7^2 \cdot 2}{21}} = 1.286$$

По [19] в зависимости от $K_{1ав}$, $t_{нав}$, эквивалентной температуры охлаждающей среды Θ и системы охлаждения трансформатора, находится допустимый коэффициент перегрузки $K_{2доп.ав}$.

Для $K_{1ав} = 0.909$, $t_{нав} = 21$ ч, $t^\circ = -13,4^\circ C$ и системы охлаждения М $K_{2доп.ав} = 1,5$

Проверку осуществляем по выражению:

$$K_{2ав} \leq K_{2доп.ав} \quad (51)$$

1,29 < 1,5 условие выполняется.

Следовательно, выбранные трансформаторы проходят по аварийной перегрузке.

Окончательно принимаем к установке трансформаторы типа ТДН-16000/110.

2.8 Расчет токов короткого замыкания

При проектировании и установки силового высоковольтного оборудования необходимо предварительно оценить величину тока короткого замыкания в месте установки. Неправильно определенные токи КЗ могут привести к выходу из строя основного и, что немаловажно, дорогостоящего оборудования.

В расчетах на низшем напряжении стоит отметить, что возникает необходимость учета активных сопротивлений элементов питания предприятия.

Расчет ведется, руководствуясь [16] и [20]. Согласно алгоритму, сначала составляется схема замещения, затем определяются ее параметры, причем в схеме включаются только те элементы, которые участвуют в определении величины тока КЗ.

2.8.1 Расчет тока трехфазного КЗ

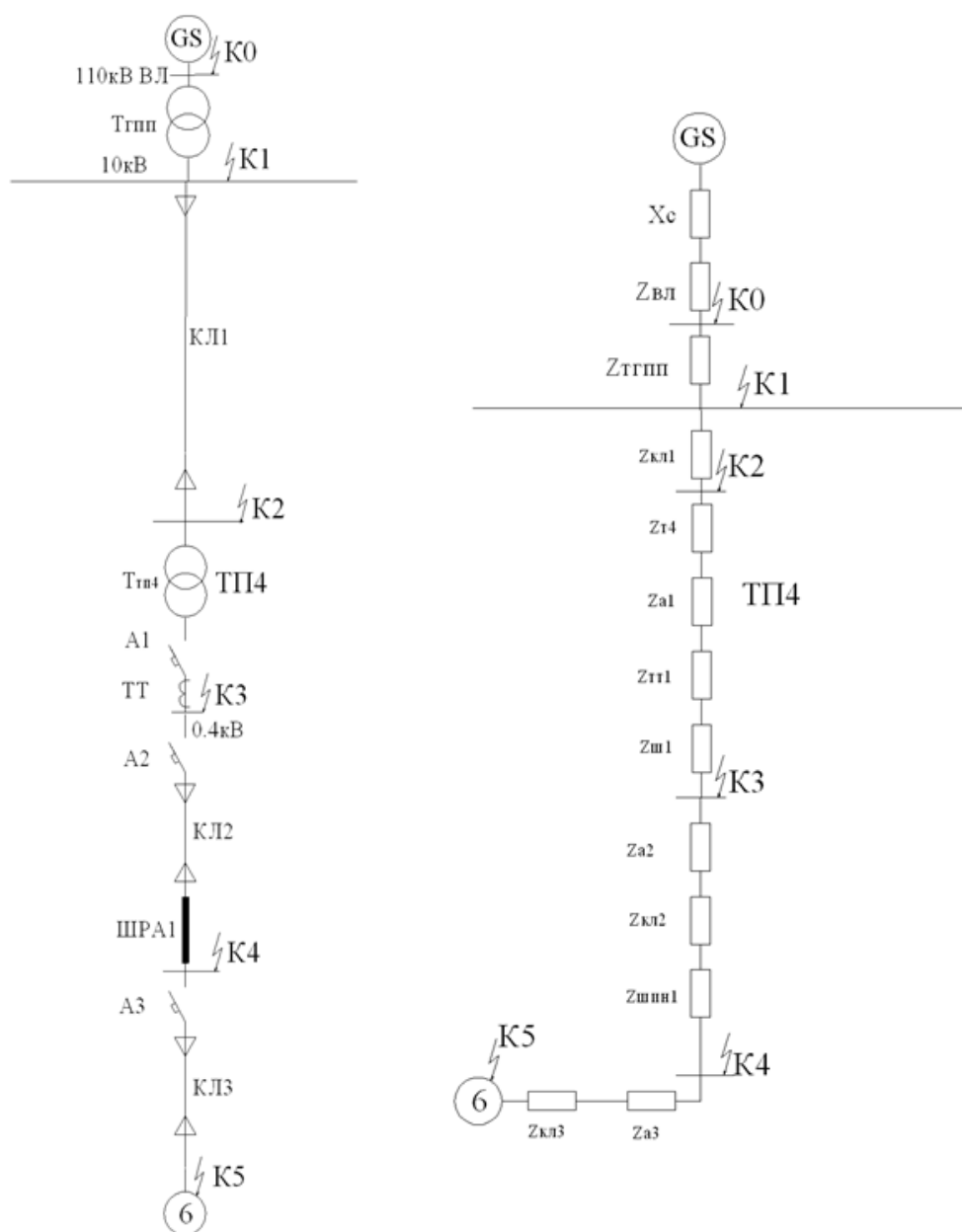


Рисунок 6 – Схема замещения расчетов токов короткого замыкания

- 1) Сопротивление системы GS: $S_H = 900 \text{ МВА}$, $x_H^* = 0,7$.

$$x_c = x_H^* \cdot \frac{U_H^2}{S_H}, \quad (56)$$

где x_H^* – реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы;

U_H – номинальное напряжение системы. $U_H = 110$ кВ.

S_H – мощность системы.

$$x_c = 0,7 \cdot \frac{10500^2}{900000000} = 0,086 \text{ Ом} \quad x_c = 0,7 \cdot \frac{115000^2}{900000000} = 10,286$$

1) Сопротивление питающей линии марки АС-120. Удельные сопротивления воздушной линии выбираются по [26]: $x_0 = 0,427$ Ом/км; $r_0 = 0,249$ Ом/км; $l = 8,6$ км:

$$x_{эл} = x_0 \cdot l \quad (57)$$

$$x_{эл} = 0,427 \cdot 8,6 = 3,67 \text{ Ом};$$

$$r_{эл} = r_0 \cdot l \quad (58)$$

$$r_{эл} = 0,249 \cdot 8,6 = 2,14 \text{ Ом};$$

3) Сопротивление трансформатора ГПП $S_{HT}=16$ МВА; $U_k=10,5\%$:

$$z_m = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{U_H^2}{S_{HT}}; \quad (59)$$

$$r_m = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{HT}} \cdot \frac{U_H^2}{2}; \quad (60)$$

$$z_m = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{10000^2}{16000000} = 0,656 \text{ Ом}$$

$$r_m = \frac{85000 \cdot 10000^2}{16000000^2} = 0,033 \text{ Ом};$$

$$x_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2} = \sqrt{0,656^2 - 0,033^2} = 0,655 \text{ Ом}$$

Сопротивление кабельной линии КЛ1: АПвПг-3х70. Удельные сопротивления кабеля выбираются по [17]: $x_0 = 0,141$ Ом/км; $r_0 = 0,57$ Ом/км; $l = 0,47$ км:

$$x_{кл} = x_0 \cdot l. \quad (61)$$

$$x_{кл} = 0,141 \cdot 0,47 = 0,066 \text{ Ом};$$

$$r_{кл} = r_0 \cdot l. \quad (62)$$

$$r_{кл} = 0,57 \cdot 0,47 = 0,268 \text{ Ом};$$

Сопротивления остальных кабельных линий сведем в таблицу 19.

Примечание: $r_k = 0,0001$ Ом для контактных соединений кабелей на 0,4 кВ.

Таблица 19 - Сопротивление КЛ

Линия	Марка	Сечение	Длина, м	x_0 , мОм/м	r_0 , мОм/м	$x_{кл}$, Ом	$r_{кл}$, Ом	r_k , Ом
1	АПвПг	3х70	470	0,141	0,57	0,066	0,268	
2	АВВГ	4х10	25	0,07	3,08	0,0018	0,077	0,0001
3	АВВГ	4х2,5	2	0,1	12,1	0,0002	0,0242	0,0001

1) Сопротивление трансформатора ППОБ:

Таблица 20 – Сопротивление трансформаторов

Трансформатор	Обозначение в СЗ	$S_{нт}$, МВА	x_T^{10} , Ом	r_T^{10} , Ом	$x_T^{0,4}$, Ом	$r_T^{0,4}$, Ом
ГПП	$Z_{ТГПП}$	16000	1,05	0,085	0,0015	0,00012
ТП5	$Z_{Т5}$	630	8,73	1,91	0,0135	0,0034

Сопротивления автоматических выключателей, по [16]:

$$A1 - I_H = 1000 \text{ А}; x_{A1} = 0,0001 \text{ Ом}; r_{A1} = 0,0001 \text{ Ом}; r_n = 0,00015 \text{ Ом}; \\ r_{\Sigma A1} = 0,00025 \text{ Ом}$$

$$A2 - I_H = 70 \text{ А}; x_{A1} = 0,002 \text{ Ом}; r_{A1} = 0,0024 \text{ Ом}; r_n = 0,001 \text{ Ом}; r_{\Sigma A1} = 0,0034 \text{ Ом}$$

$$A3 - I_H = 25 \text{ А}; x_{A1} = 0,0045 \text{ Ом}; r_{A1} = 0,0055 \text{ Ом}; r_n = 0,0013 \text{ Ом}; \\ r_{\Sigma A1} = 0,0068 \text{ Ом}$$

2) Сопротивления трансформаторов тока.

К установке принимаем трансформаторы тока класса точности 1.

Сопротивления трансформаторов тока принимаем по [17]. Для ТП5 в ПШОБ принимаем трансформатор $I_H = 1000 \text{ А}$. Для трансформатора тока с таким номинальным током сопротивление при расчете токов КЗ не учитывается.

3) Сопротивление шин подстанций.

Определяем расчетный ток на стороне НН трансформаторов по формуле:

$$I_p = \frac{S_{шт}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн.ср.}} \quad (63)$$

По [26] по допустимому току для алюминиевых шин определяем размеры шин, а по [17] определяем активное и индуктивное сопротивления плоских шин. Для ТП№5:

$$I_{расч} = \frac{1,02 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 976,33 \text{ А. По [26] при числе полос на фазу равному 1 и}$$

$I_{дон} = 1125 \text{ А}$ - определяем размеры шин 60×6 , при расстоянии между фазами 300 мм определяем: $x_0 = 0,00013 \text{ Ом/м}$. $r_0 = 0,0001 \text{ Ом/м}$, $l=5\text{м}$.

$$x_{ш} = x_0 \cdot l. \quad (64)$$

$$x_{ш} = 0,00013 \cdot 5 = 0,00065 \text{ Ом};$$

$$r_{ш} = r_0 \cdot l. \quad (65)$$

$$r_{ш} = 0,0001 \cdot 5 = 0,0005 \text{ Ом};$$

Определим сопротивление системы:

$$x'_c = x_c \cdot \left(\frac{U_б}{U_H} \right)^2, \quad (66)$$

где x'_c – приведенное значение сопротивления;

$U_б$ – напряжение, к которому приводится сопротивление;

U_H – номинальное напряжение системы.

Приведение к 0,4 кВ:

$$x'_c = 0,086 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,00012 \text{ Ом}.$$

Расчеты для других элементов расчетной схемы сведены в таблицах 21 и 22.

Таблица 21 – Сопротивления элементов, приведенные к 10 кВ

Линия	$x_{кл}, \text{ Ом}$	$r_{кл}, \text{ Ом}$
АС	0,0306	0,0178

Таблица 22 – Сопротивления элементов, приведенные к 0,4 кВ

Линия	$x_{\text{кль}}, \text{ Ом}$	$r_{\text{кль}}, \text{ Ом}$
АС	0,000044	0,000026
КЛ1	0,000096	0,000389
КЛ2	0,0018	0,077
КЛ3	0,0002	0,0242
Трансформаторы	$x_{\text{т}}, \text{ Ом}$	$r_{\text{т}}, \text{ Ом}$
ГПП	0,0015	0,00012
ТП4	0,0135	0,0034

Определяем $x_{\Sigma k}$ и $r_{\Sigma k}$ для каждой точки короткого замыкания.

Ток короткого замыкания определяем по формуле:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma k}^2 + r_{\Sigma k}^2}} \quad (67)$$

где U_n – напряжение в точке КЗ;

Ударный ток определяем по формуле:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_k^{(3)} \quad (68)$$

где $k_{y\partial}$ – ударный коэффициент:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0.01 \cdot (0.5 + \varphi_k / \pi)}{T_a}} \quad (69)$$

где T_a – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, с,

φ_k – угол сдвига по фазе между периодической составляющей тока.

$$T_a = \frac{x_k}{314 \cdot r_k}$$

КЗ и напряжением, рад, который определяют по формуле:

$$\varphi_k = \operatorname{arctg} \frac{x_{\Sigma k}}{r_{\Sigma k}} \quad (70)$$

При отношении $\frac{x_{\Sigma k}}{r_{\Sigma k}} > 5$ – ударный коэффициент тока КЗ можно определять по формуле:

$$k_{y0} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_a}} \quad (71)$$

В противном случае, согласно выражению:

$$k_{y0} = 1 + e^{-\frac{0.01 \left(0.5 + \frac{\varphi_k}{\pi} \right)}{T_a}} \quad (72)$$

Рассмотрим точку К0.

$$x_{\Sigma k1} = x_c + x_{БЛ} = 10.286 + 3.67 = 13.956 \text{ Ом.}$$

$$r_{\Sigma k1} = r_{БЛ} = 2.14 \text{ Ом.}$$

Ток короткого замыкания:

$$I_k^{(3)} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{13.956^2 + 2.14^2}} \approx 4,49 \text{ кА}$$

Ударный ток:

$$T_a = \frac{x_k}{314 \cdot r_k} = \frac{13.956}{314 \cdot 2.14} \approx 0,0207 \text{ с} \quad \frac{x_{\Sigma k}}{r_{\Sigma k}} = \frac{13.956}{2.14} = 6.52 > 5, \text{ следовательно}$$

$$k_{y\partial} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,0207}} \approx 1,62, \quad i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 1.62 \cdot 4.49 = 10,286 \text{ кА}$$

Расчет для остальных точек КЗ сведен в таблицу 23.

Таблица 23 – Расчет трехфазных токов КЗ

Точка КЗ	$x_{\Sigma k}$, Ом	$r_{\Sigma k}$, Ом	I_k , кА	T_a	x/r	$k_{уд}$	i_y , кА
1	2	3	4	5	6	8	9
0	13,956	2,14	4,49	0,0207	6,52	1,62	10,286
1	1,0955	0,1028	5,51	0,0339	10,65	1,74	13,558
2	1,1615	0,3708	4,08	0,0099	3,13	1,36	7,847
3	0,0153	0,0042	13,83	0,0116	36,43	1,42	27,77
4	0,0197	0,0851	2,51	0,0007	0,23	1,00	3,549
5	0,0244	0,1161	1,85	0,0006	0,21	1,00	2,616

2.9 Выбор электрических аппаратов и проводников

2.9.1 Выбор автоматических выключателей

1. Выбор автоматических выключателей производится по условиям:

1) По напряжению $U_{ном} \geq U_{ном.сети}$

2) По току $I_{ном} \geq I_{расч}$

3) По отключающей способности $I_{откл.ном} \geq I_{н0}$.

2. Номинальный ток для расцепителей выбирается по соотношению:

$$I_{ср.т.р.} \geq K_p \cdot K_n \cdot I_{расч} \quad (80)$$

$$I_{ср.э.р.} \geq K_{защ} \cdot I_{пуск} \quad (81)$$

где $I_{ср.т.р.}$ - номинальный ток теплового расцепителя, А;

$I_{ср.э.р.}$ - номинальный ток электромагнитного расцепителя, А;

K_p – коэффициент разброса, $K_p = 1,1$;

K_n – коэффициент надежности, $K_n = 1,3$;

$K_{защ}$ – коэффициент защиты, $K_{защ} = 1,25$.

Токи тепловых и электромагнитных расцепителей округляются до ближайших стандартных значений.

3. Автоматы должны быть проверены по чувствительности к токам КЗ:

$$K_q^{(3)} = \frac{I_{кз(\min)}^{(3)}}{I_{э.р.}} \geq 1,5 \quad (82)$$

$$K_q^{(1)} = \frac{I_{кз(\min)}^{(1)}}{I_{э.р.}} \geq 3 \quad (83)$$

4. Защита не должна отключать пусковой ток:

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_n \quad (84)$$

5. Для шинопроводов, силовых шкафов и шин 0,4 кВ защита не должна отключать пиковые токи:

$$I_{пик} = I_{п.маx} + (I_p - k_{и} \cdot I_{ном.маx}), \quad (85)$$

где $I_{п.маx}$ – наибольший из пусковых токов двигателей группы приемников;

I_p – расчетный ток группы приемников;

$k_{и}$ – коэффициент использования, характерный для двигателя, имеющего наибольший пусковой ток;

$I_{ном.маx}$ – номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током.

Рассмотрим защиту электроприемника № 6 (Точильный станок), имеющего следующие данные:

$$P_{уст} = 1,7 \text{ кВт}; I_n = 4,24 \text{ А}; \cos \varphi = 0,82; k_{п} = I_{п}/I_n = 5.$$

Величина пускового тока равна:

$$I_{пуск} = 5 \cdot 4,24 = 21,12 \text{ А}$$

В качестве защитного аппарата выбирается автоматический выключатель ВА19–29 (исполнение токоограничивающее с полупроводниковыми и электромагнитными расцепителями).

$$I_{ном} \geq I_{расч}(I_n)$$

$$5 \text{ A} > 4,24 \text{ A.}$$

Таблица 24 – Технические данные выключателя ВА19–29

I _{ном} , А	Калибруемые значения номинального тока полупроводникового расцепителя I рас.ном,А	Уставка расцепителя по току срабатывания в зоне токов перегрузки	Калибруемые значения уставок расцепителя в зоне токов КЗ		Пределы регулирования времени срабатывания при I _{ном} расц
			По току срабатывания кратные I _{ном} расц	По времени	
40	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	-	2;3;5;7;10	Выдержки нет	-

Выбираем полупроводниковый расцепитель по условию:

$$I_{\text{ср.пл.р.}} \geq K_p \cdot K_A \cdot I_{\text{расч}} \geq 1,1 \cdot 1 \cdot 4,24 = 4,66 \text{ A}$$

Принимаем из таблицы 24 ближайшее стандартное значение номинального тока полупроводникового расцепителя $I_{\text{пл.р.}} = 5 \text{ A}$

Выбираем электромагнитный расцепитель по условию:

$$I_{\text{ср.э.р.}} \geq K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{пуск}} \geq 1,25 \cdot 21,12 = 26,4 \text{ A}$$

Выключатели серии ВА 19–29 позволяют устанавливать уставки электромагнитного расцепителя, равными 2,3,5,7,10 кратному току полупроводникового расцепителя $I_{\text{пл.р.}} = 5 \text{ A}$, $I_{\text{э.р.}} = 7 \cdot 5 = 35 \text{ A}$

Для того чтобы выключатель не отключал пусковой ток, должно соблюдаться условие:

$35 > 21,12$ – условие выполняется, автоматический выключатель не будет отключать пусковой ток двигателя.

Проверка по отключающей способности:

$$I_{\text{отк в}} > I_{\text{к}}^3 \quad (86)$$

где $I_{\text{отк в}}$ – максимальный ток, который способен отключить выключатель.

$$I_{\text{отк в}} = 4,5 \text{ кА.}$$

Из таблицы 23 для точки КЗ № 5 $I_{\text{к}}^3 = 1,85 \text{ кА}$.

$4,5 \text{ кА} > 1,85 \text{ кА}$ – условие выполняется, выключатель можно применять для отключения токов КЗ на данном участке сети.

Рассмотрим защиту шинпровода ШРА-1. $I_{\text{р}} = 50,02 \text{ A}$.

Определяем пиковый ток:

$$I_{\text{пик}} = 50 + (50,02 - 0,25 \cdot 10) = 97,52 \text{ A}$$

Выбираем выключатель ВА51.

Рассмотрим защиту шины 0.4 кВ. $I_p = \frac{S_{шт} \cdot k_z}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{630 \cdot 1,02}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \approx 588,9 \text{ А}$

Пиковый ток шины 0.4 кВ: $I_{пик} = 50 + (588,9 - 0,25 \cdot 10) = 636,4 \text{ А}$.

Выбираем выключатель ВА55–41.

Таблица 25 – Технические данные выключателя ВА 52-41

$I_{ном}, \text{ А}$	1000
Вид расцепителя максимального тока: В зоне перегрузки В зоне КЗ	Тепловой Электромагнитный
$I_{ном.расц(теплого)}, \text{ А}$	630;800;1000
$I_{ном.расц(эл.маг.)}, \text{ А}$	250;400;630;1000
Уставка срабатывания расцепителя: В зоне перегрузки В зоне КЗ	1,25 3;7;10

Выбор уставок расцепителей выбранных автоматов ведется аналогично автомату ВА 19–29, расчет сведен в таблицу 26.

Таблица 26 – Проверка автоматических выключателей

Узел защиты	Марка автомата	$I_{расч}, \text{ А}$	$I_{ном}, \text{ А}$	Ток расцепителя, А		$1,25 \cdot I_{п} (I_{пик}), \text{ А}$	Ток расцепителя, А	$I_{к}^3, \text{ кА}$	$I_{отк}^3, \text{ кА}$
				$I_{ср.пл.р}$	$I_{пл.р}$				
ЭП6	ВА19-29	4,24	40	4,66	5	26,4	35	1,69	4,5
ШРА	ВА50-41	50,02	160	55,02	80	121,9	160	2,18	1,5-12
Шина	ВА25-41	588,9	1000	647,8	800	795,5	1000	29,33	135

Проверка выбранных выключателей по чувствительности:

Автомат ВА19-29 (ЭП №6)

$$K_u^{(3)} = \frac{I_{кз(\min)}^{(3)}}{I_{э.р.}} = \frac{1850}{40} = 46,25 > 1,5$$

$$K_u^{(1)} = \frac{I_{кз(\min)}^{(1)}}{I_{э.р.}} = \frac{1357}{40} = 33,93 > 3$$

Автомат ВА50-41 (ШРА)

$$K_u^{(3)} = \frac{I_{кз(\min)}^{(3)}}{I_{э.р.}} = \frac{2510}{160} = 15,68 > 1,5$$

$$K_u^{(1)} = \frac{I_{кз(\min)}^{(1)}}{I_{э.р.}} = \frac{1885}{160} = 11,78 > 3$$

Автомат ВА52-41 (Шина)

$$K_u^{(3)} = \frac{I_{кз(\min)}^{(3)}}{I_{э.р.}} = \frac{13830}{1000} = 13,83 > 1,5$$

$$K_u^{(1)} = \frac{I_{кз(\min)}^{(1)}}{I_{э.р.}} = \frac{15340}{1000} = 15,34 > 3$$

Чувствительность обеспечивает эффективную и чувствительную работу релейной защиты.

2.9.2 Выбор аппаратов на стороне высокого напряжения

На высокой стороне на ГПП выбираем и проверяем выключатель.

Выключатели выбирают по:

- 1) роду установки;
- 2) величине номинального напряжения, $U_{ап} \geq U_{сх}$;
- 3) величине номинального тока, $I_{ап} > I_{раб}$;

Выбираем ВГТ-110П-40/2500У1.

Проверяют:

- 1) на электродинамическую стойкость: $i_{ап} > i_{укз}$;
- 2) на термическую стойкость:

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{кз}} > B_{\text{к}} \quad (87)$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{кз}} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

3) по отключающей способности: $I_{\text{отк в}} > I_{\text{к}}^{(3)}$ или $S_{\text{отк в}} > S_{\text{кз}}$.

Определим тепловой импульс перед ГПП:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = 4,49 \text{ кА}$$

$$i_{\text{yд}} = 1,62 \text{ кА}$$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{к}}^{(3)2} \cdot t_{\text{расч}} = 4,49^2 \cdot 1,07 = 21,57 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Табличные и расчётные данные выключателя сводим в таблицу 27.

Таблица 27 – Данные выключателя

Величина	Данные ВГТ-110П-40/2500У1	Расчётные данные
U, кВ	110	110
I, А	2500	82,13
$I_{\text{отк в}}$, кА	40	$I_{\text{к}}^{(3)} = 4,49$
$B_{\text{к}}$, кА ² ·с	4800	21,57
i_{y} , кА	102	1,62

Ячейка отходящей линии выбирается по таблице 9.5 /16/, в зависимости от напряжения и тока.

Выбираем: СЭЩ-59.

$$I_{\text{вв расч max}} = \frac{S_{\text{ном}} \cdot k_2}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн}}} = \frac{16000 \cdot 1,39}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1285,55 \text{ А},$$

где $S_{\text{ном}}$ - номинальная мощность трансформатора;

k_2 - коэффициент аварийной перегрузки;

Таблица 28 – Данные ячейки

Параметр или аппарат	СЭЩ-59
Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток шкафа, А	1600
Номинальный ток сборных шин, А	1600
Номинальный ток отключения выключателей, кА	20
Номинальный ток электродинамической стойкости, кА	52
Выключатель	ВВЭ-10-20/1600У3
Тип привода к выключателю	Пружинный
Габариты шкафа, мм:	
ширина	750
глубина	1200
высота	2150

Выключатели выбирают по:

- роду установки;
- величине номинального напряжения, $U_B \geq U_{СХ}$;
- величине номинального тока, $I_B \geq I_{ВВ\text{ расч max}}$;

По [17] выбираем: ВВЭ-10-20/1600У3

Таблица 29 – Данные выключателя

Величина	Данные ВВЭ-10-20/1600У3
U, кВ	10
I, А	1600
$I_{отк в}$, кА	20
B_k , кА ² ·с	1200
i_y , кА	52

К установке принимаем выключатель нагрузки и предохранитель.

Выключатели нагрузки выбирают:

- 1) По роду установки;
- 2) По величине номинального напряжения:

$$U_n \geq U_{cx} \quad (88)$$

- 3) По величине номинального тока:

$$I_n \geq I_p \quad (89)$$

$$U_{cx} = 10 \text{ кВ}, I_p = 28,769 \text{ А}.$$

Принимаем к установке по таблице 7.7 [17] выключатель нагрузки ВНР-10/400-10зУ3.

Таблица 30 – Данные выключателя

Величина	Данные ВНР-10/400-10зУ3
U, кВ	10
I _{ном} , А	400
I _{ном отк} , А	400
I _{ном отк (max)} , А	800
Вк, кА2·с	100

При наличии последовательно включенного предохранителя проверка по отключающей способности производится по условию:

$$I_{n0} \leq I_{откл} \quad (90)$$

где I_{n0} - начальное действующее значение периодической составляющей тока в месте короткого замыкания;

$I_{откл}$ - предельный симметричный ток отключения патрона предохранителя.

Выключатели нагрузки по динамической устойчивости не проверяются, поскольку последовательно соединены с токоограничивающим предохранителем.

Предохранитель защищает оборудование подстанции от действия токов КЗ.

Предохранители выбираются:

- по номинальному току плавкой вставки

$$I_{вс.ном} \geq (1,5 \div 2) I_{тр.ном} \quad (91)$$

где $I_{тр.ном} = \frac{S_{нт} \cdot k_3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{630 \cdot 0,79}{\sqrt{3} \cdot 10} \approx 28,769 \text{ А}$ - номинальный ток

трансформатора, откуда $80 > (1,5 \div 2) \cdot 28,769 = (43,154 \div 57,538)$.

- по номинальному напряжению;

- по отключающей способности:

$$I_{по} = 13,83 \text{ для точки КЗ №3.}$$

Для защиты трансформаторов выбирается по таблице [17] предохранитель токоограничивающий с кварцевым наполнением типа ПКТ 103-10-80-31,5 УЗ, со следующими данными:

- номинальное напряжение: $U_{ном} = 10 \text{ кВ}$;

- номинальный ток $I_{ном} = 80 \text{ А}$.

- максимальное рабочее напряжение: $U_{\max \text{ раб}} = 12 \text{ кВ}$;

- ток отключения: $I_{откл} = 31,5 \text{ кА}$.

$13,83 < 31,5$. Данный предохранитель условиям проверки удовлетворяет.

Выводы к разделу 2

В данном разделе определены электрические нагрузки цехов и осветительная нагрузка предприятия. Составлена и вынесена на графическую часть проекта картограмма нагрузок обогатительной фабрики.

Решен вопрос о необходимости установки устройств компенсации реактивной мощности типа УКЛ(П)56-10,5-2700 У1 производства компания ООО «Электропоставка».

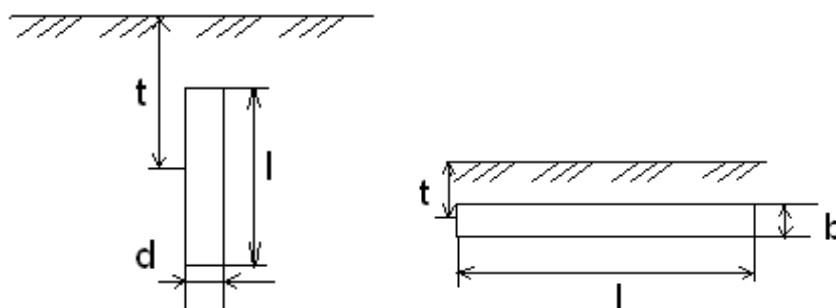
К установке на ГПП принято 2 силовых трансформатора типа ТДН - 16000/110/10 и цеховые ТМГ 630/10/0,4.

Оценены уровни токов короткого замыкания на основании которых были произведены выбор и проверка основного силового электрооборудования. Со стороны высшего напряжения главной понизительной подстанции был установлен высоковольтный выключатель типа ВГТ-110Ш- 40/2500 У1, со стороны низшего напряжения главной понизительной подстанции для унификации и удобства монтажных операций и оперативных переключений были установлены ячейки КРУ серии СЭЩ-59, произведенные на заводе «Электрощит». В состав ячейки входит высоковольтный элегазовый выключатель ВВЭ – СЭЩ – 10-20/1600 У3.

3 Расчет заземляющих устройств для ПШОБ

«Сопротивление заземляющих устройств в установках напряжением до 1000 В не должно быть больше 4 Ом» [1].

«В качестве вертикальных заземлителей принимаются стальные стержни диаметром $d = 40$ мм и длиной 1 - 3 метра, которые погружают в грунт методом ввертывания. Верхние концы электродов располагают на глубине $h = 0,7$ м от поверхности земли и соединяют сваркой с горизонтальными заземлителями из полосовой стали» [1].



а)

б)

а) вертикального; б) горизонтального

Рисунок 9 – Расположение заземлителей

Определяются расчетные удельные сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей:

$$\begin{aligned}\rho_{расч.г.} &= \rho_{уд.г.} \cdot K_{н.г.}; \\ \rho_{расч.в.} &= \rho_{уд.в.} \cdot K_{н.в.}\end{aligned}\tag{106}$$

где $\rho_{уд}$ – удельное сопротивление грунта. $\rho_{уд} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (суглинок);

K_n – повышающие коэффициенты для горизонтальных и вертикальных электродов. $K_{n.г.} = 2$; $K_{n.в.} = 1,4$.

$$\rho_{расч.г.} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{расч.в.} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Сопротивление растекания одного вертикального электрода стержневого типа:

$$R_{о.в.э} = \frac{\rho_{расч.в.}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right), \quad (107)$$

где t – расстояние от центра электрода до поверхности.

$$t = h + \frac{1}{2}.$$

$$t = 0,7 + 3/2 = 2,2 \text{ м};$$

$$R_{о.в.э} = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{40 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 39,85 \text{ Ом}.$$

Определяется примерное число вертикальных заземлителей при предварительно принятом коэффициенте использования $K_{у.в.} = 0,58$ (таблицы 12.4, 12.5 [28]):

$$N = \frac{R_{о.в.э}}{K_{у.в.} \cdot R_u}$$

$$N = \frac{39,85}{0,58 \cdot 4} = 17.$$

Сопrotивление растеканию одного горизонтального электрода по [28]:

$$R_{p.z.\varepsilon} = \frac{\rho_{расч.z}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t}, \quad (108)$$

$$R_{p.z.\varepsilon} = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,5} \cdot \ln \frac{2 \cdot 6,5^2}{0,08 \cdot 0,504} = 34,074 \text{ Ом}$$

Уточним необходимое сопротивление вертикальных электродов:

$$R_{в.\varepsilon} = \frac{R_{p.z.\varepsilon} \cdot R_u}{R_{p.z.\varepsilon} - R_u} \quad (109)$$

$$R_{в.\varepsilon} = \frac{34,07 \cdot 4}{34,07 - 4} = 4,53 \text{ Ом}.$$

Уточненное число вертикальных электродов при $K_{u.в.y} = 0,61$:

$$N = \frac{R_{о.в.\varepsilon}}{K_{u.в.y} \cdot R_{в.\varepsilon}} = \frac{39,85}{0,61 \cdot 4,53} = 14,42.$$

Окончательно принимаем 15 электродов по контуру.

Принимается 15 вертикальных электродов и располагаем их в один ряд.

Выводы к разделу 3

В данном разделе осуществлен расчет и выбор заземляющих устройств. По итогам расчета спроектирована система заземления, удовлетворяющая технологическим требованиям и требованиям безопасности.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе бакалавра произведен расчет системы электроснабжения подготовительного производства обогатительной фабрики. По результатам расчета общая суммарная нагрузка на предприятии, включая освещение, имеет величину 9501,45 кВА.

При разработке системы электроснабжения сделан выбор и выполнена проверка цеховых и силовых трансформаторов на главной понизительной подстанции. К установке приняты цеховые трансформаторы марки ТМГ - 630/10/0,4 и силовые на ГПП марки ТДН – 16000/110/10.

Питание обогатительной фабрики осуществляется по двухцепным линиям номинальным напряжением 110 кВ.

Расчеты токов короткого замыкания на высшем и низшем напряжениях позволили произвести выбор силовых устройств. Со стороны высшего напряжения главной понизительной подстанции предложено установить высоковольтный выключатель типа ВГТ-110Ш- 40/2500 У1, со стороны низшего напряжения главной понизительной подстанции для унификации и удобства монтажных операций и оперативных переключений были установлены ячейки КРУ серии СЭЩ-59, произведенные на заводе «Электрощит». В составе ячеек имеется высоковольтный элегазовый выключатель ВВЭ – СЭЩ – 10-20/1600 У3.

Расчеты показали, что на предприятии необходимо установка устройств компенсации реактивной мощности. Для повышения коэффициента мощности предложено установить конденсаторные установки УКЛ(П)56-10,5-2700 У1, выпускаемые отечественным предприятием ООО «Электропоставка». Данное устройство позволяет решить проблему энергосбережения на обогатительной фабрике.

Таким образом, задачи все решены и цель ВКР достигнута.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ)/ Главгосэнергонадзор России. М.: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. 610 с.
2. Эксплуатация линий распределительных сетей систем электроснабжения : учебное пособие / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош ; под ред. Е.Е. Привалова ; Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь : Параграф, 2018. – 169 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485019> (дата обращения: 18.05.2020).
3. ГОСТ 23366-78 Ряды номинальных напряжений постоянного и переменного тока;
4. РТМ 36.18.32.4-92
5. Сибикин, Ю.Д. Эксплуатация электрооборудования электростанций и подстанций : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Ю.Д. Сибикин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2017. – 448 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480996> (дата обращения: 18.05.2020).
6. Сибикин, Ю.Д. Электрические подстанции : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. – Москва : Директ-Медиа, 2014. – 414 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229240> (дата обращения: 18.05.2020).
7. СНиП III-18-75 Металлические конструкции; институт Промстальконструкция Минмонтажспецстроя СССР и ЦНИИ проектстальконструкция Госстроя СССР
8. ГОСТ 2.755-87. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения; Москва: ИПК Издательство стандартов; 1998 ;

9. Н. Н. Меркни. ГОСТ 21.403—80. Обозначения условные графические в электрических схемах. Оборудование энергетическое/ Н. Н. Меркни (руководитель темы), З. М. Федоренчик, Г. В. Зотов, В. Г. Галкин, В. С. Ушаков, Я. Г. Тимофеев; 1980 ;
10. ГОСТ 19431-84. Энергетика и электрификация. Термины и определения ; Москва: Издательство стандартов № 1984 Стандартиформ № 2005; 1984 ;
11. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. – 2-е изд. доп. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. – 149 с.
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493858> (дата обращения: 18.05.2020).
12. А.А.Федоров, Г.В.Сербиновский.Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Вдвух книгах; Москва: "Энергоиздат", 1973-1974 , 520+524 с.
- 13.Дробов, А.В. Электрическое освещение : учебное пособие : [12+] / А.В. Дробов. – Минск : РИПО, 2017. – 220 с.
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=487910> (дата обращения: 18.05.2020).
14. Дайнеко, В.А. Технология ремонта и обслуживания электрооборудования : учебное пособие : / В.А. Дайнеко. – Минск : РИПО, 2017. – 376 с.
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=487907> (дата обращения: 18.05.2020).
15. Сибикин, Ю.Д. Электрические подстанции: учебное пособие для высшего и среднего профессионального образования : [12+] / Ю.Д. Сибикин. – Изд. 3-е, стер. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 415 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575048> (дата обращения: 18.05.2020).

16. Кобелев, А.В. Установившиеся и переходные режимы работы электрических цепей : учебное пособие / А.В. Кобелев, С.В. Кочергин, Е.А. Печагин ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2017. – 154 с.
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=498889> (дата обращения: 18.05.2020).
17. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки; 1985.
18. РД 153-34.0-20.527-98: Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; Москва: Издательство НЦ ЭНАС; 2002.
19. ООО "САР Формула - Кабельные Системы": Кабельная промышленность [Электронный ресурс], - Режим доступа: <http://www.fks-cable.ru/ksp.html>
20. "Бэст Электро Центр" : компания, предоставляющая комплексные сервисные услуги в области электромонтажа и учета электроэнергии [Электронный ресурс], - Режим доступа: <http://www.best-elektrik.ru/katalog.cgi?sub1=2>
21. Молниезащита и заземление. Нормативы и ГОСТы. Нормативные документы регулирующие действия по всему комплексу мероприятий по молниезащите и заземлению [Электронный ресурс], - Режим доступа: http://www.selltec.ru/catalogue/Molniezaschita/Normativy_i_GOSTy/
22. Энергосбережение и энергоэффективность в энергетике : учебное пособие : [16+] / В.П. Луппов, Т.В. Мятаж, Ю.М. Сидоркин и др. ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. – 107 с.
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574704> (дата обращения: 18.05.2020).

23. Ю.Ф. Лыков .Режимы нейтрали и электробезопасность в установках напряжением ниже 1000 В- учебное пособие; СамГТУ, 2016.
24. Сибикин, Ю.Д. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий : справочник : [12+] / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – 5-е изд. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 249 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259060> (дата обращения: 18.05.2020).
25. Автоматические выключатели общего применения до 630 А- Справочник, Москва: Информэлектро, 2017.
26. Мисриханов, М.Ш. Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов : монография / М.Ш. Мисриханов, Н.Б. Рубцова, А.Ю. Токарский. – 2-е изд., перераб. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 509 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564826> (дата обращения: 18.05.2020).