

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики  
Отделение электроэнергетики и электротехники  
Профиль Электроснабжение

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электроснабжения предприятия горнометаллургического завода АО «Алмалыкский ГМК» г Алмалык</b>

УДК 621.31.031:669.013 (575.1)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5АЗДЗ	Анваров Диёр Машраб угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Муравлев Игорь Олегович	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>13.03.02 Электроэнергетика и электротехника</b>	<b>Шестакова Вера Васильевна</b>			

Томск – 2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики  
 Отделение электроэнергетики и электротехники  
 Профиль Электроснабжение

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. отделением  
 \_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Шестакова В.В.  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
---

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3ДЗ	Анваров Диёр Машраб угли

Тема работы:

Электроснабжения предприятия горнометаллургического завода АО «Алмалыкский ГМК» г.Алмалык	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом исследования является цех твердой изоляции горно-металлургического комбината. В качестве исходных данных представлены:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- генеральный план завода;</li> <li>- план цеха твердой изоляции;</li> <li>- сведения об электрических нагрузках завода;</li> <li>- сведения об электрических нагрузках цеха твердой изоляции</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- постановка задачи проектирования;</li> <li>- проектирование системы электроснабжения;</li> <li>- детальное рассмотрение особенностей трансформаторных подстанций в системах электроснабжения с последующим выбором цеховых трансформаторов;</li> <li>- обсуждение результатов выполненной работы;</li> <li>- разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;</li> <li>- разработка раздела «Социальная ответственность»;</li> <li>- заключение.</li> </ul>

<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)		- картограмма электрических нагрузок предприятия; - план внутризаводского электроснабжения; - однолинейная схема цеха твёрдой изоляции.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)		
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>	
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко А. А.	
«Социальная ответственность»	Ледовская А. Н.	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Муравлев И. О.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3ДЗ	Анваров Диёр Машраб угли		

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	9
<b>1. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	11
<b>2. АНАЛИЗ РАСЧЕТОВ</b> .....	19
2.1 Определение расчетной электрической нагрузки цеха твердой изоляции.....	19
2.2 Определение расчётной нагрузки предприятия в целом.....	38
2.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок .....	42
2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций ....	46
2.5 Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых ТП и уточнение их нагрузки .....	51
2.6 Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения .....	55
2.7 Система внутризаводского электроснабжения.....	59
2.8 Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.....	66
2.9 Выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей в сети выше 1000 В.....	74
2.10 Электроснабжение цеха твердой изоляции .....	79
2.11 Выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей в сети до 1000 В .....	81
2.12 Выбор сечений линий питающей сети цеха.....	96
2.13 Выбор сечений распределительной сети цеха. Условия выбора сечений проводников для электроприемников:.....	99
2.14 Расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонений напряжения. ....	112
2.15 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В.....	118
2.16 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети. ....	122
<b>3.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ</b> .....	126
3.1 Техничко-экономическое обоснование проекта .....	126
3.1.1 Инициализация и обоснование проекта. Потенциальные потребители .....	127
3.1.2 SWOT-анализ цеха твердой изоляции горно-металлургического комбината .....	127

<b>3.2 Организация работ по техническому проекту .....</b>	<b>133</b>
<b>3.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования .....</b>	<b>133</b>
<b>3.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП .....</b>	<b>136</b>
<b>3.2.3 Разработка графика проведения технического проекта.....</b>	<b>138</b>
<b>3.3 Составление сметы затрат на разработку ТП.....</b>	<b>140</b>
<b>3.3.1 Расчет материальных затрат .....</b>	<b>140</b>
<b>3.3.2 Расчет полной заработной платы исполнителей темы .....</b>	<b>142</b>
<b>3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....</b>	<b>144</b>
<b>3.3.4 Накладные расходы.....</b>	<b>144</b>
<b>3.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта .....</b>	<b>145</b>
<b>3.4 Оценка организационной эффективности.....</b>	<b>146</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>149</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>151</b>
<b>Приложение А (Картограмма электрических нагрузок) .....</b>	<b>155</b>
<b>Приложение Б (Техническое решение выбора количества трансформаторов) .....</b>	<b>156</b>
<b>Приложение В (Система внутрицехового электроснабжения) .....</b>	<b>157</b>
<b>Приложение Г (Однолинейная схема цеха твердой изоляции) .....</b>	<b>158</b>

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 170 с., 11 рис., 40 табл., 24 источника, 4 приложения.

Ключевые слова: расчетная нагрузка, картограмма нагрузок, выбор трансформаторов, компенсация, электроснабжение цеха, выбор оборудования, проверка оборудования, однолинейная схема, ресурсоэффективность, ресурсосбережение, социальная ответственность.

Объектом исследования является цех твердой изоляции горно-металлургического комбината.

Цель работы: разработка системы электроснабжения промышленного предприятия.

В процессе исследования произведен выбор метода расчета на основе исходных данных, поэтапный расчет электрических нагрузок комбината и рассматриваемого цеха, выбор оборудования и его проверка при различных режимах работы.

В результате исследования была спроектирована конкретная модель электроснабжения промышленного предприятия, представлена ее техническая целесообразность и безопасность для окружающей среды.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: исследуемый комбинат состоит из шестнадцати цехов, из них одиннадцать тринадцать цехов относятся ко второй категории по степени надежности электроснабжения; напряжение питающей линии 110 кВ; рабочие напряжения внутри комбината: 0,4 кВ; схема внутривозвратной сети – радиальная.

Область применения: горно-металлургический комбинат с нормальной-средой в производственных помещениях.

## ВВЕДЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается электроснабжение горно-металлургического комбината с подробным рассмотрением цеха твердой изоляции. Целью выпускной работы является проверка усвоения дисциплин, предусмотренных учебным планом, и развитие способности самостоятельно решать практические вопросы проектирования системы электроснабжения промышленного предприятия.

Данный комбинат предполагает наличие нагрузки 2 категории по степени надежности электроснабжения. В состав комбината входят различные цеха, каждый из них выполняет отведенную ему роль.

Процесс выполнения дипломной работы предусматривает следующие этапы:

Во-первых, расчет нагрузки цеха твердой изоляции методом упорядоченных диаграмм. Целью этого этапа является закрепление навыков использования упомянутого метода расчета.

Во-вторых, определение расчетной нагрузки предприятия в целом по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов с учетом расчетной нагрузки освещения цехов и территории предприятия, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций, ГПП и линиях. Расчет производится отдельно для высоковольтных и низковольтных нагрузок методом коэффициента спроса.

В-третьих, построение картограммы электрических нагрузок с целью определения наиболее оптимального места расположения ГПП на территории предприятия.

В-четвертых, расчет схемы внутризаводского электроснабжения. На данном этапе производится выбор числа и мощности цеховых трансформаторных подстанций и схемы их электроснабжения.

В-пятых, выбор напряжения питающей сети комбината, сечения проводов, выбор мощности трансформаторов ГПП.

В-шестых, расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000В для проверки правильности выбора сечений проводников

На последнем этапе производится расчет электроснабжения цеха твердой изоляции, который включает в себя: распределение приемников по пунктам питания; определение расчетных нагрузок по пунктам питания; выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке и проверка их по потере напряжения; выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты; построение эпюр отклонений напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП, расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000В для построения карты селективности действия защитных аппаратов.

В главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» предполагается оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа эксплуатации спроектированной системы электроснабжения горно-металлургического комбината. Также будут рассмотрены организационно-технические вопросы, связанные с определением координации всех видов работ исполнителей дипломной работы.

Глава «Социальная ответственность» предусматривает оценку условий труда, анализ вредных и опасных факторов, пожарной безопасности и охрану окружающей среды.

# 1. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Объектом исследования является горно-металлургический комбинат в целом и его цех твёрдой изоляции в частности

Исходные данные:

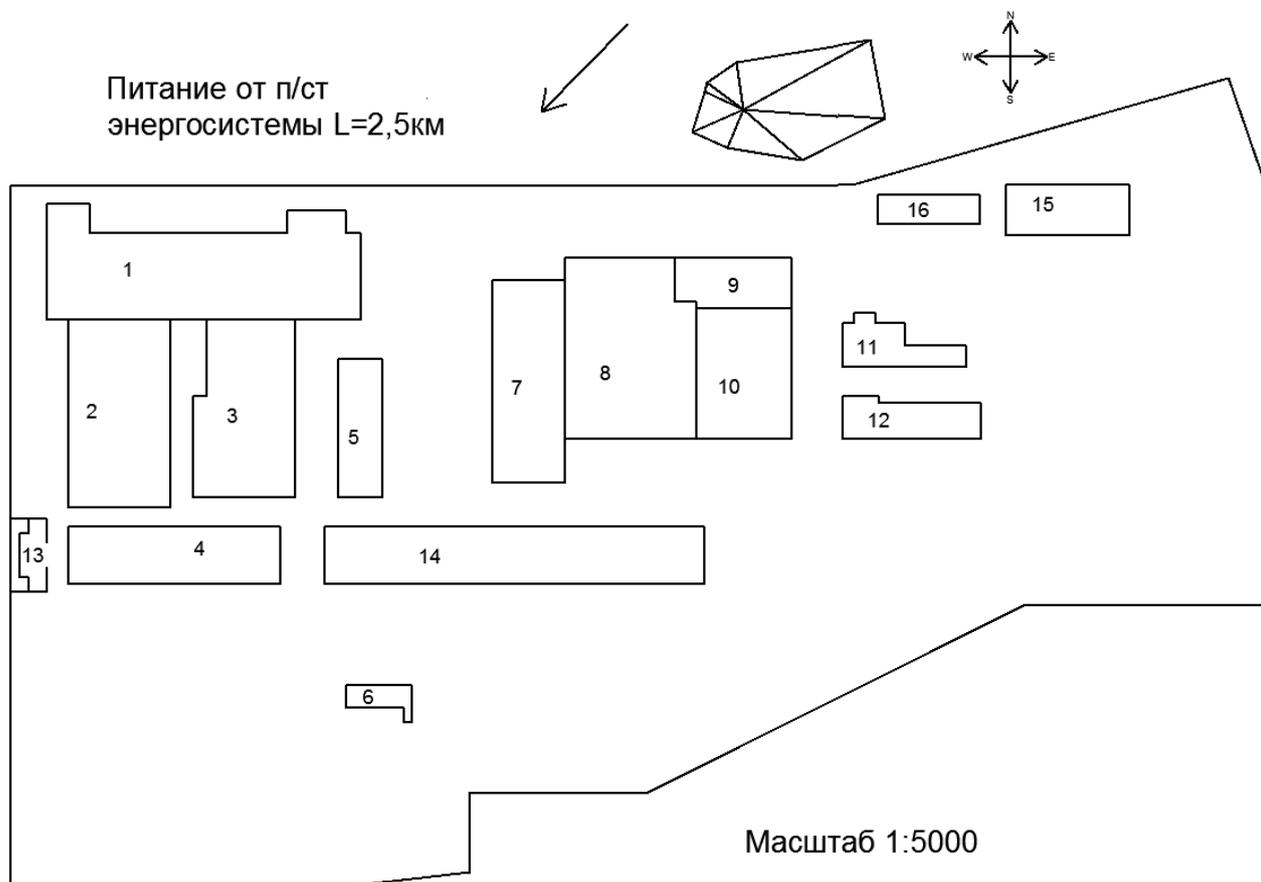


Рисунок 1.1 – Генплан горно-металлургического комбината [1]

Таблица 1.1 – Сведения об электрических нагрузках горно-металлургического комбината

№ На генплане	Наименование цеха	Установленная мощность, кВт
1	Гидрокорпус	2600
2	Трансформаторный корпус	2800
3	Корпус крупных машин	2450
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	900
5	Изоляционный корпус	750
6	Котельная	1440
7	Корпус высоковольтного оборудования	880
8	Котельно-сварочный корпус	3500
9	Цех металлопокрытий	2100
10	Механический корпус	1400
11	Деревообрабатывающий корпус	700
12	Цех твердой изоляции	550,63
13	Инженерный корпус	1400
14	Цех точного литья	520
15	Корпус А	520
16	Корпус по изготовлению трансформаторного оборудования	1400
Длина питающей линии (км) – 2,5		

Таблица 1.2 – Характеристика производственных помещений

№	Наименование цеха	Р,кВт	Характеристика среды	Категория ЭП
1	Гидрокорпус	2600	нормальная	II
2	Трансформаторный корпус	2800		
3	Корпус крупных машин	2450		
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	900		
5	Изоляционный корпус	750		
6	Котельная	1440	жаркая, пыльная	
7	Корпус высоковольтного оборудования	880	нормальная	
8	Котельно-сварочный корпус	3500	жаркая, пыльная	
9	Цех металлопокрытий	2100	нормальная	
10	Механический корпус	1400		
11	Деревообрабатывающий корпус	700	жаркая, пыльная	
12	Цех твердой изоляции	550	нормальная	
13	Инженерный корпус	1400		
14	Цех точного литья	520		
15	Корпус А	520		
16	Корпус по изготовлению трансформаторного оборудования	1400		
Длина питающей линии (км) – 2,5				

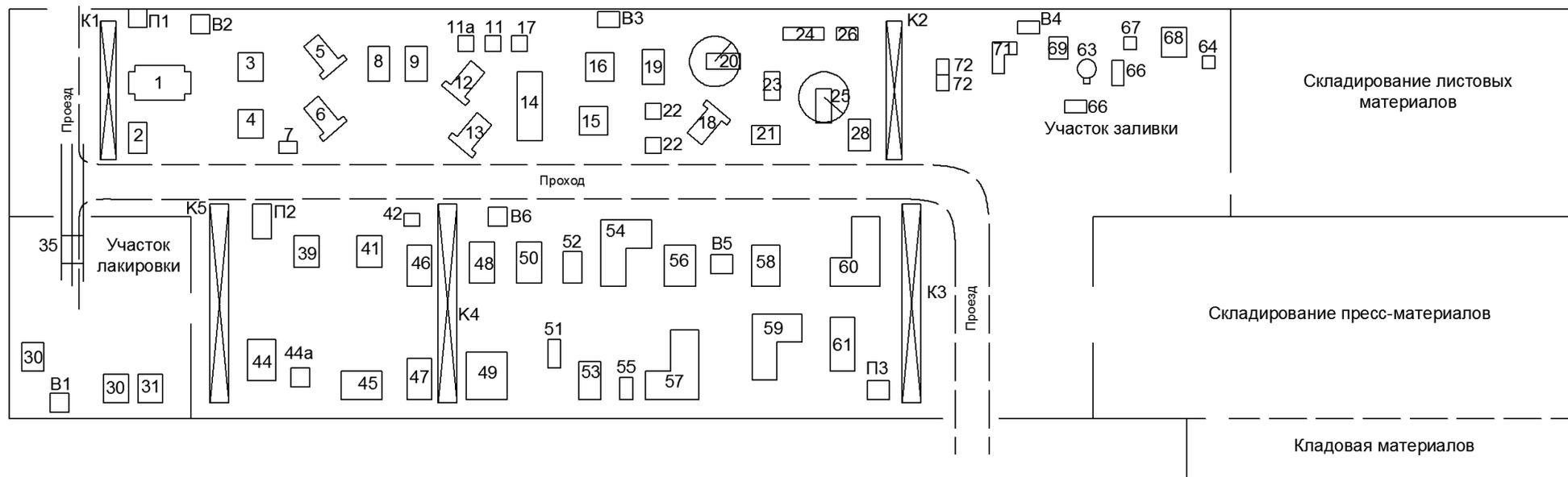


Рисунок 1.2 – План цеха твердой изоляции

Таблица 1.3 – Сведения об электрических нагрузках цеха твердой изоляции

№	Наименование цеха	Мощность, кВт
1	Станок специальный для резки	5,5
2	Дисковая пила	5,5
К1	Кран-балка	9
3	Дисковая пила с водяным охлаждение	4
4	Дисковая пила	4
5	Горизонтально-фрезерный станок	9,1
6	Вертикально-сверлильный станок	8,8
7	Вертикально-сверлильный станок	3,5
8	Вертикально-сверлильный станок	4,6
9	Вертикально-сверлильный станок	4,6
11а	Заточный станок	0,5
11	Станок с абразивным кругом	0,5
12	Вертикально-фрезерный станок	13
13	Горизонтально-фрезерный станок	9,6
14	Дисковая пила	23,5
15	Токарно-винторезный станок	4,2
16	Токарно-винторезный станок	2,5
22	Вертикально-сверлильный станок	2,5

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цеха	Мощность, кВт
22а	Вертикально-сверлильный станок	2,5
19	Токарно-винторезный станок	13
20	Радиально-сверлильный станок	7,5
21	Реверсивный станок н/столе	1,1
23	Лобзиковая пила	1,5
24	Галтовочный барабан	1,5
25	Радиально-сверлильный станок	2,5
26	Настольно-сверлильный станок	0,4
К2	Кран-балка	9
28	Элеваторный стелаж	2,2
18	Горизонтально-сверлильный станок	9,6
35	Управление электрической тележной	1
39	Станок с нагр. плитой	2
41	Пресс кривошипный	4,5
42	Точильно-шлифовальный	0,5
44	Ножницы гильот.	5,6
К3	Кран-балка	9
К4	Кран-балка	14
К5	Кран-балка	14
54	Пресс гидравлический	26

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цеха	Мощность, кВт
56	Пресс гидравлический	8
58	Пресс гидравлический	15,5
60	Пресс гидравлический	16
61	Пресс гидравлический	35
59	Пресс гидравлический	15
57	Пресс гидравлический	15
55	Пресс гидравлический	31,5
46	Пресс гидравлический	8
48	Пресс гидравлический	8
50	Пресс гидравлический	8
52	Пресс гидравлический	31,5
53	Пресс гидравлический	25,5
51	Пресс гидравлический	15,5
49	Пресс гидравлический	27
47	Пресс гидравлический	8
30	Электropечь	50
31	Электropечь	50
45	Электropечь	43
45a	Индуктор	50
63	Установка для приготовления компаунда	1,6

## Окончание таблицы 1.3

№	Наименование цеха	Мощность, кВт
67	Вакуумный насос	3,0
64	Компрессор	24
68	Электродпечь	24
66	Центробежный станок	9
69	Литьевая машина	17
71	Установка для плавления капрона	35
72	Термостат	12
В1-В6	Вытяжной вентилятор	6,2
П1-П3	Приточный вентилятор	15

## 2. АНАЛИЗ РАСЧЕТОВ

### 2.1 Определение расчетной электрической нагрузки цеха твердой изоляции

Расчет силовых нагрузок цеха производим «методом коэффициента расчетной мощности» в следующей последовательности.

При расчетах электрических нагрузок будем использовать Таблицу 2.

$$P_{см} = K_u \cdot P_{ном}, \text{ кВт}; \quad (2.1.1)$$

где  $K_u$  – коэффициент использования активной мощности,  
 $P_{ном}$  – суммарная номинальная активная мощность рабочих электроприемников;

Средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой группы электроприемников определяется по формуле:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВар}; \quad (2.1.2)$$

где  $\text{tg}\varphi$  - принимается по соответствующему значению коэффициента мощности.

Средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле:

$$K_{u.ср} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном}}; \quad (2.1.3)$$

где  $\sum P_{см}$  - суммарная средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену,

$\sum P_{ном}$  – суммарная установленная мощность группы электроприёмников цеха.

Коэффициент максимума активной мощности определяется по кривым в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования  $K_{u.ср}$  и эффективного числа электроприемников  $n$ , для данной группы:

$$n_3 = \frac{\left[ \sum_1^n P_{ном} \right]^2}{\sum_1^n P_{ном}^2} \quad (2.1.4)$$

Расчетная активная  $P_M$  и реактивная  $Q_M$  максимальные мощности группы:

$$P_p = K_p \cdot P_{см}, \text{ кВт} \quad (2.1.5)$$

$$Q_p = Q_{см} \text{ при } n_3 > 10$$

$$Q_p = 1.1 Q_{см} \text{ при } n_3 \leq 10 \quad (2.1.6)$$

Расчётная нагрузка осветительных приёмников цеха определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{p.o.} = P_{н.o.} \cdot K_{c.o.}, \quad (2.1.7)$$

где  $K_{c.o.}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки [1. П 3.1.],

$P_{н.o.}$  – номинальная мощность осветительной нагрузки, находится как:

$$P_{н.o.} = P_{уд.o.} \cdot F, \quad (2.1.8)$$

где  $P_{уд.o.}$  – удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м<sup>2</sup> [1. П 3.2.];

$F$  – площадь цеха, м<sup>2</sup> (определяется по генплану).

Полная расчётная нагрузка цеха (с учётом освещения) определяется:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o.})^2 + Q_p^2} \quad (2.1.9)$$

Расчётный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (2.1.10)$$

Таблица 2.1.1 – Справочные данные для ЭП РМЦ

Номер на плане	Наименование электроприемника	Установленная мощность ЭП, кВт	Ки	cos(φ)
1	Станок специальный для резки	5,5	0,13	0,5
2	Дисковая пила	5,5		
К1	Кран-балка	9		
3	Дисковая пила с водяным охлаждением	4		
4	Дисковая пила	4		
5	Горизонтально-фрезерный станок	9,1		
6	Вертикально-сверлильный станок	8,8		
7	Вертикально-сверлильный станок	3,5		
8	Вертикально-сверлильный станок	4,6		
9	Вертикально-сверлильный станок	4,6		
11а	Заточный станок	0,5		
11	Станок с абразивным кругом	0,5		
12	Вертикально-фрезерный станок	13		
13	Горизонтально-фрезерный станок	9,6		

14	Дисковая пила	23,5		
15	Токарно-винторезный станок	4,2		
16	Токарно-винторезный станок	2,5		
22	Вертикально-сверлильный станок	2,5		
22a	Вертикально-сверлильный станок	2,5		
19	Токарно-винторезный станок	13	0,13	0,5
20	Радиально-сверлильный станок	7,5		
21	Реверсивный станок н/столе	1,1		
23	Лобзиковая пила	1,5		
24	Галтовочный барабан	1,5		
25	Радиально-сверлильный станок	2,5		
26	Настольно-сверлильный станок	0,4		
К2	Кран-балка	9		
28	Элеваторный стелаж	2,2		
18	Горизонтально-сверлильный станок	9,6		
35	Управление электрической тележной	1		
39	Станок с нагр. плитой	2		
41	Пресс кривошипный	4,5		

42	Точильно-шлифовальный	0,5		
44	Ножницы гильот.	5,6		
К3	Кран-балка	9		
К4	Кран-балка	14		
К5	Кран-балка	14		
54	Пресс гидравлический	26	0,13	0,5
56	Пресс гидравлический	8		
58	Пресс гидравлический	15,5		
60	Пресс гидравлический	16		
61	Пресс гидравлический	35		
59	Пресс гидравлический	15		
57	Пресс гидравлический	15		
55	Пресс гидравлический	31,5		
46	Пресс гидравлический	8		
48	Пресс гидравлический	8		
50	Пресс гидравлический	8		
52	Пресс гидравлический	31,5		
53	Пресс гидравлический	25,5		

51	Пресс гидравлический	15,5		
49	Пресс гидравлический	27		
47	Пресс гидравлический	8		
30	Электропечь	50	0,8	0,95
31	Электропечь	50		
45	Электропечь	43		
45а	Индуктор	50	0,7	0,8
63	Установка для приготовления компаунда	1,6	0,75	0,8
67	Вакуумный насос	3,0	0,7	0,8
64	Компрессор	24		0,85
68	Электропечь	24	0,75	0,95
66	Центробежный станок	9	0,75	0,85
69	Литьевая машина	17	0,6	0,6
71	Установка для плавления капрона	35	0,75	0,85
72	Термостат	12	0,6	0,6
В1-В6	Вытяжной вентилятор	6,2	0,75	0,85
П1-П3	Приточный вентилятор	15		

\* Данные табл.2.1.1 приняты согласно [1]

Пример расчетов:

ПР 2:

1. Горизонтально-фрейзерный станок.

$$P_H = 1 \cdot 9,1 = 9,1 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_u \cdot P_H = 0,13 \cdot 9,1 = 1,18 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 1,18 \cdot 1,73 = 2,05 \text{ (кВАр)}$$

2. Вертикально-сверлильный станок.

$$P_H = 2 \cdot 4,6 = 9,2 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_u \cdot P_H = 0,13 \cdot 9,2 = 1,2 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 1,2 \cdot 1,73 = 2,07 \text{ (кВАр)}$$

3. Станок с абразивным кругом.

$$P_H = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_u \cdot P_H = 0,13 \cdot 0,5 = 0,07 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 0,07 \cdot 1,73 = 0,11 \text{ (кВАр)}$$

4. Заточный станок.

$$P_H = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_u \cdot P_H = 0,13 \cdot 0,5 = 0,07 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 0,07 \cdot 1,73 = 0,11 \text{ (кВАр)}$$

5. Вертикально-фрейзерный станок.

$$P_H = 1 \cdot 13 = 13 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_u \cdot P_H = 0,13 \cdot 13 = 1,69 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot tg\varphi = 1,69 \cdot 1,73 = 2,93 \text{ (кВАр)}$$

6. Горизонтально-фрейзерный станок.

$$P_H = 2 \cdot 9,6 = 19,2 \text{ (кВт)}$$

$$P_{cm} = \kappa_u \cdot P_H = 0,13 \cdot 19,2 = 2,5 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot tg\varphi = 2,5 \cdot 1,73 = 4,32 \text{ (кВАр)}$$

Итого по ПР 2 общая нагрузка будет складываться из суммы всех мощностей электроприемников.

Для всего ПР2:

$$\sum P_H = 51,5 \text{ (кВт)}$$

$$\sum P_{cm} = 51,5 \cdot 0,13 = 6,70 \text{ (кВт)}$$

$$\sum Q_{cm} = 6,7 \cdot 1,73 = 11,6 \text{ (кВАр)}$$

$$\kappa_u = \frac{\sum P_{cm}}{\sum P_H} = 0,13$$

При  $n \geq 4$ ,  $K_n < 0,2$  и  $m > 3$  эффективное число ЭП  $n_e$  определяется с использованием относительных единиц, таблиц или графиков.

1. Выбираются наиболее крупные ЭП,  $P_{ном}$  которых равна или

больше половины  $P_{ном макс}$ . ( $P_{ном} = P_{ном макс}$  или  $P_{ном} > \frac{1}{2} P_{ном макс}$ ).

$$P_{ном макс} = 13 \text{ кВт};$$

$\frac{1}{2} P_{ном макс} = 6,5 \text{ кВт}$ . Видно, что в ПР 2 4 ЭП у которых  $P_{ном} > 6,5 \text{ кВт}$ .

2. Определим число  $n_1$  и суммарную номинальную мощность  $P_{н1}$  наибольших ЭП группы:  $n_1 = 4$ ,  $P_{н1} = 41,3$  кВт.
3. Определяют число  $n$  и суммарную номинальную мощность  $P_n$  всех ЭП группы:  $n = 8$ ,  $P_n = 51,5$

4. Находят значения  $n^*$  и  $P^*$  :

$$n^* = \frac{n_1}{n} = \frac{4}{8} = 0,5 \quad P^* = \frac{P_{ном1}}{P_{ном}} = \frac{41,3}{51,5} = 0,8$$

5. По полученным  $n^*$  и  $P^*$  по таблице [6. Т 1.4.] определяем  $n_{э}^*$  относительное значение эффективного числа ЭП. Берут ближайшее меньшее значение.

Принимаем  $n_{эф}^* = 0,7$

Из выражения  $n_{э}^* = \frac{n_{э}}{n} \rightarrow n_{э} = n_{э}^* \cdot n = 0,7 \cdot 8 = 5,6$ , принимаем  $n_{эф} = 6$ .

$K_M = 2,84$  [6. Т 1.8.]

$$P_p = K_M \cdot \sum P_{CM} = 2,84 \cdot 6,7 = 19,01 \text{ (кВт)}$$

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{CM} = 1,1 \cdot 11,6 = 12,76 \text{ (кВАр)}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{19,01^2 + 12,76^2} = 22,9 \text{ (кВА)}$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{22,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 34,79 \text{ (А)}$$

Расчёты систематизируем в виде таблицы, представленной ниже.

Проведенными расчетами была определена общая мощность цеха твердой изоляции, а также найден расчетный ток нагрузки. Данные расчеты используются для правильного выбора сечений линий, коммутационных и защитных аппаратов.

Таблица 2.1.2 – Определение расчётных нагрузок цеха твердой изоляции

№ п\п	Наименование узлов	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная			
		n	Pн, кВт	PнΣ, кВт	m	Kи	cosφ	tgφ	Pсм, кВт	Qсм, кВАр	пэ	Км/Км'	Pр, кВт	Qр, кВАр	Sр, кВА	Iр/Iп
<b>ПР1</b>	<b>ЭП группы А</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>
1	Станок специальный для резки	1	5,5	5,5		0,13	0,5	1,73	0,715	1,24						
4	Дисковая пила	1	5,5	5,5		0,13	0,5	1,73	1,43	2,48						
К1	Кран-балка ПВ=40%	1	5,692	5,69		0,13	0,5	1,73	0,74	1,28						
3	Дисковая пила с водяным охлаждением	1	4	4		0,13	0,5	1,73	0,52	0,9						
6	Вертикально-фрейзерный станок	1	8,8	8,8		0,13	0,5	1,73	1,14	1,98						
7	Вертикально-сверлильный станок	1	3,5	3,5		0,13	0,5	1,73	0,46	0,79						
	Итого по группе А	7	3,5-8,8	38,5	≤ 3	0,13	0,5	1,73	5	8,67	7	2,68/ 1,1	13,4	9,53		
	ЭП группы Б															
В2	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2		0,75	0,85	0,62	4,65	2,88						
П1	Приточный вентилятор	1	15	15		0,75	0,85	0,62	11,25	6,97						

Продолжение таблицы 2.1.2

№ п\п	Наименование узлов	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная			
		n	Pн, кВт	PнΣ, кВт	m	Ки	cosφ	tgφ	Pсм, кВт	Qсм, кВАр	пэ	Км/Км'	Pр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА	Ip/In
	Итого по группе Б	2	6,2-15	21,2	-	-	-	-	15,9	9,85	-	-	15,9	9,85		
	<u>итого по ПР1</u>	<u>9</u>	<u>3,5-15</u>	<u>53,49</u>	-				<u>20,9</u>	<u>18,5</u>				<u>29,3</u>	<u>19,38</u>	<u>35,14</u>
<b>ПР2</b>	<b>ЭП группы А</b>															
5	Горизонтально-фрейзерный станок	1	9,1	9,1		0,13	0,5	1,73	1,18	2,05						
8, 9	Вертикально-сверлильный станок	2	4,6	9,2		0,13	0,5	1,73	1,196	2,07						
11	Станок с абразивным кругом	1	0,5	0,5		0,13	0,5	1,73	0,065	0,11						
11а	Заточный станок	1	0,5	0,5		0,13	0,5	1,73	0,065	0,11						
12	Вертикально-фрейзерный станок	1	13	13		0,13	0,5	1,73	1,69	2,93						
13	Горизонтально-фрейзерный станок	2	9,6	19,2		0,13	0,5	1,73	2,5	4,32						
	Итого по группе А	8	0,5-13	51,5	>3	0,13	0,5	1,73	6,695	11,6	6	2,84/ 1,1	19,01	12,76		

Продолжение таблицы 2.1.2

№ п\п	Наименование узлов	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная			
		n	P <sub>н</sub> , кВт	P <sub>нΣ</sub> , кВт	m	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ	P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , кВАр	пэ	Км/Км'	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	S <sub>р</sub> , кВА	I <sub>р</sub> /I <sub>п</sub>
	<u>итого по ПР2</u>	<u>8</u>	<u>0,5-13</u>	<u>51,5</u>	=				<u>6,695</u>	<u>11,6</u>				<u>19,01</u>	<u>12,756</u>	<u>22,8</u>
<b>ПР3</b>	<b>ЭП группы А</b>															
14	Дисковая пила	1	23,5	23,5		0,13	0,5	1,73	3,05	5,29						
15	Токарно-винторезный станок	1	4,2	4,2		0,13	0,5	1,73	0,546	0,94						
16, 19	Токарно-винторезный станок	2	13	26		0,13	0,5	1,73	3,38	5,85						
22, 22а	Вертикально-сверлильный станок	2	2,5	5		0,13	0,5	1,73	0,65	1,12						
20	Радиально сверлильный станок	1	7,5	7,5		0,13	0,5	1,73	0,975	1,68						
	итого по группе А	7	2,5-23,5	66,2	>3	0,13	0,5	1,73	8,606	14,9	5	3,05	1,1	26,24	16,39	
	ЭП группы Б															
В3	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2		0,75	0,85	0,62	4,65	2,88						
	итого по группе Б	1	6,2	6,2	-	-	-	-	4,65	2,88	-	-	4,65	2,88		
	<u>итого по ПР3</u>	<u>8</u>	<u>2,5-23,5</u>	<u>72,4</u>	=				<u>13,3</u>	<u>17,78</u>				<u>30,89</u>	<u>19,28</u>	<u>36,42</u>

Продолжение таблицы 2.1.2

№ п\п	Наименование узлов	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная			
		п	Рн, кВт	РнΣ, кВт	m	Ки	cosφ	tgφ	Рсм, кВт	Qсм, кВАр	пэ	Км/Км'	Рр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА	Ip/Ip
<b>ПР4</b>	<b>ЭП группы А</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
21	Реверсивный станок на столе	1	1,1	1,1		0,13	0,5	1,73	0,143	0,24						
23	Лобзиковая пила	1	1,5	1,5		0,13	0,5	1,73	0,195	0,34						
24	Галтовочный барабан	1	1,5	1,5		0,13	0,5	1,73	0,195	0,34						
25	Радиально сверлильный станок	1	2,5	2,5		0,13	0,5	1,73	0,325	0,56						
26	Настольно сверлильный станок	1	0,4	0,4		0,13	0,5	1,73	0,052	0,09						
28	Элеваторный стелаж	1	2,2	2,2		0,13	0,5	1,73	0,286	0,49						
К2	Кран-балка ПВ=40%	1	5,692	5,6921		0,13	0,5	1,73	0,74	1,28		-				
	итого по группе А	7	0,4-5,7	14,892	>3	0,13	0,5	1,73	1,94	3,35	4	3,27	1,1	6,33	3,68	
	ЭП группы Б															
72	Термостат	2	12	24		0,6	0,6	1,33	14,4	19,2						
	итого по группе Б	2	12	24	-	-	-	-	14,4	19,2	-	-	14,4	19,2		

Продолжение таблицы 2.1.2

№ п\п	Наименование узлов	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная			
		n	P <sub>н</sub> , кВт	P <sub>нΣ</sub> , кВт	m	Ки	cosφ	tgφ	P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , кВАр	пэ	Км/Км'	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	S <sub>р</sub> , кВА	I <sub>р</sub> /I <sub>п</sub>
	<u>итого по ПР4</u>	<u>7</u>	<u>0,4-12</u>	<u>14,892</u>	=				<u>1,94</u>	<u>3,35</u>				<u>6,330</u>	<u>3,68</u>	<u>7,32</u>
<b>ПР5</b>	<b>ЭП группы Б</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
В2	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2		0,75	0,85	0,62	4,65	2,88						
63	Установка для приготовления компаунда	1	1,6	1,6		0,7	0,8	0,75	1,12	0,84						
66	Центробежный станок	2	9	18		0,75	0,85	0,62	6,75	4,18						
69	Литьевая машина	1	17	17		0,6	0,6	1,33	10,2	13,6						
64	Компрессор	1	24	24		0,8	0,85	0,62	19,2	11,8						
67	Вакуумный насос	1	3	3		0,7	0,8	0,75	2,1	1,58						
68	Электропечь	1	24	24		0,75	0,95	0,33	18	5,91						
71	Установка для плавления капрона	1	35	35		0,75	0,85	0,62	26,25	16,3						
	<u>итого по группе Б</u>	<u>9</u>	<u>1,6-35</u>	<u>21,2</u>	-	-	-	-	<u>88,27</u>	<u>57,16</u>	-	-	<u>88,27</u>	<u>57,16</u>		
	<u>итого по ПР5</u>	<u>9</u>	<u>1,6-35</u>	<u>21,2</u>	=				<u>88,27</u>	<u>57,2</u>				<u>88,27</u>	<u>57,16</u>	<u>105,2</u>

Продолжение таблицы 2.1.2

№ п/п	Наименование узлов	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная			
		n	Pн, кВт	PнΣ, кВт	m	Ки	cosφ	tgφ	Pсм, кВт	Qсм, кВАр	пэ	Км/Км'	Pр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА	Ip/In
ПР6	ЭП группы А															
К5	Кран-балка ПВ=40%	1	8,854	8,854		0,13	0,5	1,73	1,15	1,99						
44	Ножницы гальотинные	1	5,6	5,6		0,13	0,5	1,73	0,728	1,26						
35	Управление электрической тележкой	1	1	1		0,13	0,5	1,73	0,13	0,23						
	итого по группе А	3	5,6-8,85	15,45		0,13	0,5	1,73	2	3,48	-	-	-	2	3,48	
	ЭП группы Б															
В1	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2		0,75	0,85	0,62	4,65	2,88						
30, 31	Электропечь	2	50	100		0,8	0,95	0,33	80	26,3						
45	Электропечь	1	43	43		0,8	0,95	0,33	34,4	11,3						
45а	Индуктор	1	50	50		0,7	0,8	0,75	35	26,3						
П2	Приточный вентилятор	1	15	15		0,75	0,85	0,62	11,25	6,97						
	итого по группе Б	7	5,6-50	264,2	-	-	-	-	165,3	73,7	-	-	165,3	73,7		
	<u>итого по ПР6</u>	<u>10</u>	<u>3,5-50</u>	<u>279,65</u>	=				<u>167,3</u>	<u>77,2</u>				<u>167,3</u>	<u>77,2</u>	<u>184,2</u>

Продолжение таблицы 2.1.2

№ п\п	Наименование узлов	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная			
		n	P <sub>н</sub> , кВт	P <sub>нΣ</sub> , кВт	m	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ	P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , кВАр	пэ	Км/Км'	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	S <sub>р</sub> , кВА	I <sub>р</sub> /I <sub>п</sub>
<b>ПР7</b>	<b>ЭП группы А</b>															
39	Станок с нагревной плитой	1	2	2		0,13	0,5	1,73	0,26	0,45						
41	Пресс кривошипный	1	4,5	4,5		0,13	0,5	1,73	0,585	1,01						
К4	Кран-балка ПВ=40%	1	8,854	8,854		0,13	0,5	1,73	1,15	1,99						
46, 47, 48, 50	Пресс гидравлический	4	8	32		0,13	0,5	1,73	4,16	7,2						
42	Точильно-шлифовальный	1	0,5	0,5		0,13	0,5	1,73	0,065	0,11						
	итого по группе А	8	0,5-8,85	47,854 4	>3	0,13	0,5	1,73	6,22	10,77	6	2,84/ 1,1	17,66	11,85		
	<b>ЭП группы Б</b>															
В6	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2		0,75	0,85	0,62	4,65	2,88						
	итого по группе Б	1	6,2	21,2	-	-	-	-	4,65	2,88	-	-	4,65	2,88		
	<u>итого по ПР7</u>	<u>9</u>	<u>0,5-8,85</u>	<u>69,054</u>	<u>=</u>				<u>10,87</u>	<u>13,65</u>				<u>22,31</u>	<u>14,7</u>	<u>26,74</u>

Продолжение таблицы 2.1.2

№ п\п	Наименование узлов	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная			
		n	P <sub>н</sub> , кВт	P <sub>нΣ</sub> , кВт	m	Ки	cosφ	tgφ	P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , кВАр	пэ	Км/Км'	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	S <sub>р</sub> , кВА	I <sub>р</sub> /I <sub>п</sub>
<b>ПР8</b>	<b>ЭП группы А</b>															
49, 56	Пресс гидравлический	2	8	16		0,13	0,5	1,73	2,08	3,6						
51	Пресс гидравлический	1	15,5	15,5		0,13	0,5	1,73	2,015	3,49						
52, 55	Пресс гидравлический	2	31,5	63		0,13	0,5	1,73	8,19	14,18						
53	Пресс гидравлический	1	25,5	25,5		0,13	0,5	1,73	3,315	5,74						
54	Пресс гидравлический	1	26	26		0,13	0,5	1,73	3,38	5,85						
57	Пресс гидравлический	1	15	15		0,13	0,5	1,73	1,95	3,377						
	итого по группе А	8	8-31,5	161	>3	0,13	0,5	1,73	20,93	36,2	6	2,84/ 1,1	59,44	39,87		
	<u>итого по ПР8</u>	<u>8</u>	<u>8-31,6</u>	<u>161</u>	=				<u>20,93</u>	<u>36,25</u>				<u>59,44</u>	<u>39,8</u>	<u>71,57</u>

Окончание таблицы 2.1.2

№ п\п	Наименование узлов	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену				Нагрузка максимальная			
		n	P <sub>н</sub> , кВт	P <sub>нΣ</sub> , кВт	m	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ	P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , кВАр	пэ	Км/Км'	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	S <sub>р</sub> , кВА	I <sub>р</sub> /I <sub>п</sub>
<b>ПР9</b>	<b>ЭП группы А</b>															
58	Пресс гидравлический	1	15,5	15,5		0,13	0,5	1,73	2,015	3,49						
59, 60	Пресс гидроавлический	2	15	30		0,13	0,5	1,73	3,9	6,75						
К3	Кран-балка ПВ=40%	1	5,692	5,6921		0,13	0,5	1,73	0,73	1,28						
61	Пресс гидравлический	1	35	35		0,13	0,5	1,73	4,55	7,88						
	итого по группе А	5	5,69-35	86,192	>3	0,13	0,5	1,73	11,2	19,4	4	3,27/ 1,1	36,64	21,34		
	ЭП группы Б	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	12	13	14	15
В5	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2		0,75	0,85	0,61	4,65	2,88						
П3	Приточный вентилятор	1	15	15		0,75	0,85	0,61	11,25	6,97						
	итого по группе Б	2	6,2-15	21,2	-	-	-	-	15,9	9,85	-	-	15,9	9,85		
	<u>итого по ПР9</u>	<u>7</u>	<u>5,69-35</u>	<u>107,39</u> <u>2</u>	=				<u>27,1</u>	<u>29,26</u>				<u>52,54</u>	<u>31,2</u>	<u>61,1</u>
	<b>ИТОГО</b>	75	0,4-50	830,58				1,73	357,2	264,8				475,4	275,21	550,6

## 2.2 Определение расчётной нагрузки предприятия в целом

Расчётная нагрузка (активная и реактивная) силовых приёмников цехов определяются из выражений:

$$P_p = K_c \cdot P_n; \quad (2.2.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.2.2)$$

где  $P_n$  – суммарная установленная мощность всех приёмников цеха;

$K_c$  – коэффициент спроса, принимаемый по справочным данным; [3]

$\operatorname{tg} \varphi$  – принимается по соответствующему значению коэффициента мощности;

Пример расчетов для цеха твердой изоляции:

Расчётные активная и реактивная нагрузки силовых приёмников цеха:

$$P_p = K_c \cdot P_n = 0,4 \cdot 830,6 = 322,24 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 322,24 \cdot 1,73 = 557,47 \text{ кВАр}.$$

Номинальная мощность осветительной нагрузки цеха:

$$P_{н.о.} = P_{уд.ос.} \cdot F_{ц} = 0,0045 \cdot 2500 = 11,25 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка от освещения:

$$P_{р.о.} = P_{н.о.} \cdot K_{с.о.} = 11,25 \cdot 1 = 11,25 \text{ кВт}.$$

Полная расчетная нагрузка цеха:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{р.о.})^2 + (Q_p)^2} = \sqrt{(322,24 + 11,25)^2 + (557,47)^2} = 603,3 \text{ кВА}.$$

Таблица 2.2.1 – Определение полной нагрузки предприятия в целом

		Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка									Силовая + осветительная		
№	Наименование цеха	P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	cosφ	tgφ	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	F <sub>ц</sub> , м <sup>2</sup>	Тип ламп	P <sub>уд.ос.</sub> , кВт/м <sup>2</sup>	P <sub>н.о.</sub> , кВт	к с.о.	cosφ	tgφ	P <sub>р.о.</sub> , кВт	Q <sub>р.о.</sub> , кВАр	ΣP, кВт	ΣQ, кВАр	ΣS, кВА
1	Гидрокорпус	2600	0,5	0,6	1,3 3	1300	1733,3	14100	ДРЛ	0,00375	52,9	0,9 5	0,35	2,67	50,2	134,4	1350,2	1867,8	2304,7
2	Трансформаторный корпус	<u>2800</u>	0,4	0,6	1,3 3	1120	72,5	12350	ДРЛ	0,00375	46,3	0,9 5	0,35	2,67	43,9	117,8	1163,9	190,3	1179,4
3	Корпус крупных машин	2450	0,5	0,8	0,7 5	1225	918,8	7900	ДРЛ	0,00375	29,6	0,9 5	0,35	2,67	28,1	75,3	1253,1	994,1	1599,5
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	900	0,2	0,8	0,7 5	180	135	5800	ДРЛ	0,0045	26,1	0,9 5	0,35	2,67	24,8	66,4	204,8	201,4	287,2
5	Изоляционный корпус	750	0,5	0,6	1,3 3	375	500	2850	ДРЛ	0,00375	10,67	0,9 5	0,95	0,32	10,2	3,3	385,2	503,3	633,8

Продолжение таблицы 2.2.1

		Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка									Силовая + осветительная		
№	Наименование цеха	Рн, кВт	Кс	cosφ	tgφ	Рр, кВт	Qp, кВАр	Fc, м2	Тип ламп	Руд.ос., кВт/м2	Р н.о., кВт	к с.о.	cosφ	tgφ	Р р.о., кВт	Q р.о., кВАр	ΣР, кВт	ΣQ, кВАр	ΣS, кВА
6	Котельная	1440	0,5	0,75	0,8 8	720	634,9	725	ДРЛ	0,00325	2,36	1	0,35	2,67	2,4	6,3	722,4	641,3	965,9
7	Корпус высоковольтного оборудования	880	0,3 5	0,7	1,0 2	308	314,2	700 0	ДРЛ	0,00375	26,25	0,9 5	0,35	2,67	24,9	66,7	332,9	380,9	505,9473
8	Котельно-сварочный корпус	3500	0,5	0,7	1,0 2	1750	1785,4	108 00	ДРЛ	0,00325	35,1	1	0,35	2,67	35,1	93,9	1785,1	1879,3	2591,9
9	Цех металлопокрытий	2100	0,4	0,6	1,3 3	840	1120	272 5	ДРЛ	0,00375	10,22	1	0,35	2,67	10,2	27,3	850,2	1147,3	1428
10	Механический корпус	1400	0,3	0,7	1,0 2	420	428,5	630 0	ДРЛ	0,00375	23,63	0,9 5	0,35	2,67	22,4	60,1	442,4	488,6	659,1

Окончание таблицы 2.2.1

		Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка									Силовая + осветительная		
№	Наименование цеха	Рн, кВт	Кс	cosφ	tgφ	Рр, кВт	Qр, кВАр	Fc, м2	Тип ламп	Руд.ос., кВт/м2	Р н.о., кВт	к с.о.	cosφ	tgφ	Р р.о., кВт	Q р.о., кВАр	ΣР, кВт	ΣQ, кВАр	ΣS, кВА
11	Деревообрабатывающий корпус	700	0,4	0,9	0,485	280	135,6	1650	ДРЛ	0,004	6,6	0,95	0,35	2,67	6,27	16,8	286,3	152,4	324,3
12	Цех твердой изоляции	830,6	0,4	-	1,73	332,24	292,6	2500	ДРЛ	0,0045	11,25	1	0,35	2,67	11,25	30,1	343,5	322,7	471,3
13	Инженерный корпус	1400	0,5	0,75	0,88	700	617,3	1250	ЛЭД	0,0036	4,5	0,8	0,35	2,67	3,6	9,6	703,6	626,9	942,4
14	Цех точного литья	520	0,5	0,75	0,88	260	229,3	10400	ДРЛ	0,0035	36,4	0,85	0,35	2,67	30,94	82,8	290,9	312,1	426,7
15	Корпус А	520	0,9	0,75	0,88	468	412,7	2975	ЛЭД	0,004	11,9	0,8	0,35	2,67	9,52	25,5	477,5	438,2	648,1
	<b>Итого</b>	<b>24190,6</b>															<b>10878,18</b>	<b>11855,119</b>	<b>16182,3</b>

### 2.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Картограмма нагрузок представляет собой размещённые на генплане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определённом масштабе соответствуют расчётным нагрузкам цехов.

Радиусы окружностей для каждого цеха определяем из выражения:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (2.3.1)$$

где  $P_{pi}$  – расчётная активная мощность  $i$  – го цеха с учётом освещения, кВА;

$m$  – масштаб для определения площади круга, кВА/мм<sup>2</sup> (постоянный для всех цехов предприятия).

Силовые нагрузки до и выше 1000 В изображаем отдельными кругами. Считаем, что нагрузка по цеху распределена равномерно, поэтому центр нагрузок совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане.

Осветительную нагрузку наносим в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В. Угол сектора ( $\alpha$ ) определяем из соотношения полных расчётных ( $P_{pi}$ ) и осветительных нагрузок ( $P_{po}$ ) цехов:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{S_{pi}} \quad (2.3.2)$$

На генплан среднего горно-металлургического комбината произвольно наносим оси координат и определяем значения  $x_i$  и  $y_i$  для каждого цеха.

Координаты центра электрических нагрузок предприятия  $x_0$  и  $y_0$  определяем по формулам [1]:

$$x_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot x_i}{\sum P_{pi}}, \quad y_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot y_i}{\sum P_{pi}} \quad (2.3.3), (2.3.4)$$

Таблица 2.3.1 – Расчётные данные для построения картограммы нагрузок.

№ цеха	$P_{p.i}, \text{кВА}$	$P_{p.o.i}, \text{кВт}$	$r_i, \text{см}$	$\alpha, \text{град}$	$X_i, \text{м}$	$Y_i, \text{м}$	$P_{p.i} \cdot X_i$	$P_{p.i} \cdot Y_i$
	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1350,23	50,23	0,85	13,39	430	130	580599,4	175530,1
2	1163,99	43,99	0,79	13,6	325	70	378299	81479,78
3	1253,14	28,14	0,82	8,08	335	150	419803,2	187971,6
4	204,79	24,8	0,33	43,58	230	110	47102,85	22527,45
5	385,15	10,15	0,45	9,49	305	210	117471,7	80882,16
6	722,36	2,36	0,62	1,17	125	265	90294,53	191424,4
7	332,94	24,94	0,42	26,96	350	355	116528,1	118192,8
8	1785,1	35,1	0,97	7,08	375	425	669412,5	758667,5
9	850,22	10,22	0,67	4,32	410	490	348589,7	416607,2
10	442,44	22,44	0,48	18,26	375	500	165916,4	221221,9
11	286,27	6,27	0,39	7,88	380	625	108782,6	178918,8
12	343,49	11,25	0,43	11,79	325	595	111634,3	204376,6
13	703,6	3,6	0,61	1,84	225	20	158310	14072
14	290,94	30,94	0,39	38,28	230	345	66916,2	100374,3
15	477,52	9,52	0,50	7,18	455	700	217271,6	334264
16	285,99	5,99	0,39	7,53	455	625	130123,2	178740,6
Итого	24190,6						2271046	3265251

Пример расчетов цеха твердой изоляции:

Радиус окружности:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{343,49}{3,14 \cdot 600}} = 0,47 \text{ мм.}$$

Угол сектора осветительной нагрузки:

$$\alpha_1 = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o}}{P_{p1}} = \frac{360^\circ \cdot 11,25}{343,49} = 11,79 \text{ град.}$$

Координаты центра электрических нагрузок предприятия:

$$x_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot x_i}{\sum P_{pi}} = \frac{1350,23 \cdot 430 + 1163,99 \cdot 325 + \dots + 285,99 \cdot 455}{1350,23 + 1163,99 + \dots + 285,99} = 342,62 \text{ м,}$$

$$y_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot y_i}{\sum P_{pi}} = \frac{1350,23 \cdot 130 + 1163,99 \cdot 70 + \dots + 285,99 \cdot 625}{1350,23 + 1163,99 + \dots + 285,99} = 300,16 \text{ м.}$$

Построение зоны рассеяния ЦЭН

Полуоси эллипса:

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x}; \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y};$$

$$\text{Где } h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}}; \quad h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}}.$$

$\sigma_x, \sigma_y$  дисперсии случайных координат.

Для цеха твердой изоляции:

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 &= \sum_{i=1}^n P_{xi} \cdot (x_i - x_{0a})^2 = \sum \left( \frac{P_i}{\sum P} \cdot (x_i - x_{0a})^2 \right) = \\ &= \sum \left( \frac{343,49}{\sum 1350,23 + 1163,99 + \dots + 285,99} \cdot (135,047 - 430)^2 \dots \right) = 50245; \\ \sigma_y^2 &= \sum \left( \frac{P_y}{\sum P} \cdot (y_i - y_{0a})^2 \right) = \sum \left( \frac{343,49}{\sum 1350,23 + 1163,99 + \dots + 285,99} \cdot (164,31 - 59,022)^2 \dots \right) = 75006, \end{aligned}$$

Где  $P_{xi}, P_{yi}$  - эмпирическая вероятность появления  $x_i, y_i$  в о.е.

$$h_x = \frac{1}{\sigma x \cdot \sqrt{2}} = 0,0032 \quad h_y = \frac{1}{\sigma y \cdot \sqrt{2}} = 0,0026;$$

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0032} = 548,97; \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0026} = 670,73;$$

Картограмма и центр электрических нагрузок изображен на рисунке 1.2.

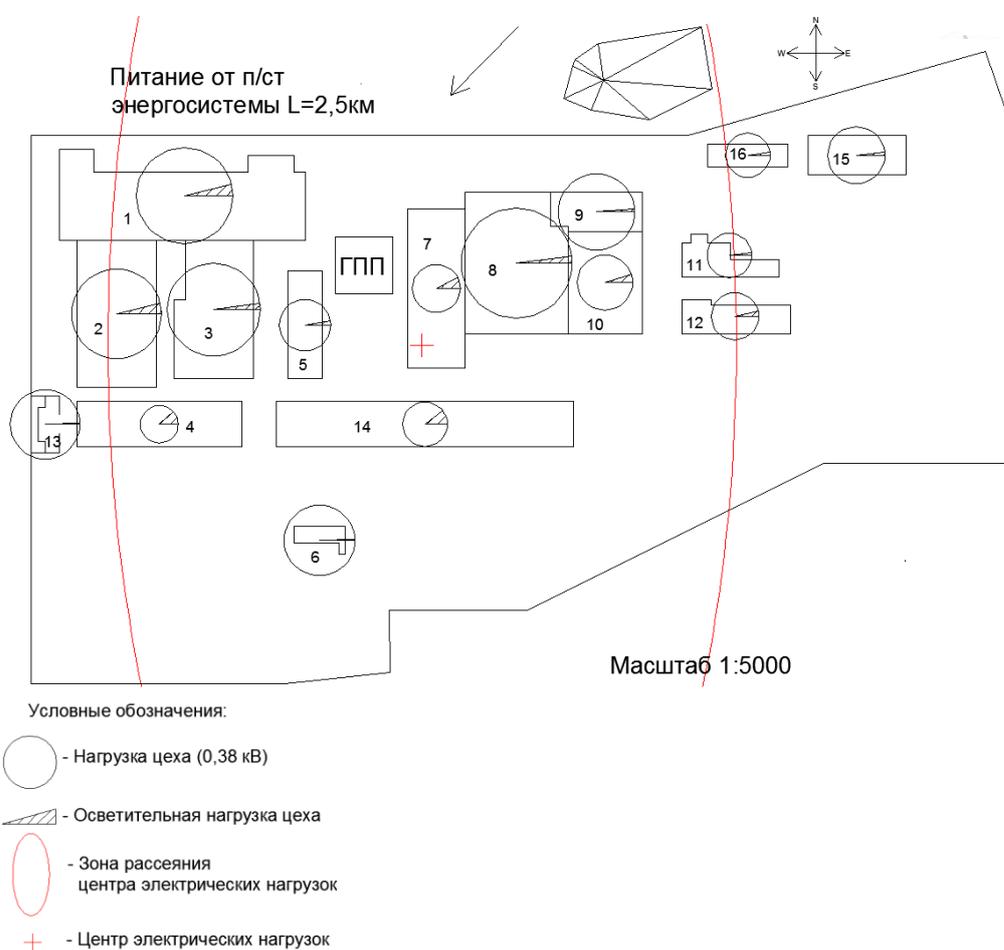


Рисунок 2.1 – Картограмма электрических нагрузок

## 2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

По удельной плотности нагрузки

$$\sigma = \frac{S_p}{F_u} = \frac{16182,3}{90725} = 0,178 \text{ кВА} / \text{м}^2,$$

Где  $S_p$  - суммарная мощность предприятия

$F_u$  - суммарная площадь цехов

Для данной плотности нагрузки рекомендуется использовать трансформаторы мощностью 1600 кВА.

Минимальное возможное число трансформаторов определяем по формуле:

$$N_0 = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{\beta_m \cdot S_{н.мп.}}, \quad (2.4.1)$$

где  $\beta_m$  – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме (согласно [3, с. 38] принимаем  $\beta_m = 0,7$ );

$S_{н.мп.}$  – номинальная мощность одного трансформатора, кВА;

$(\sum P_p^H + \sum P_{p.o})$  - суммарная активная расчетная низковольтная нагрузка цехов, кВт.

Получаем

$$N_0 = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{\beta_m \cdot S_{н.мп.}} = \frac{10878}{0,7 \cdot 1600} = 9,7 \cdot \quad (2.4.2)$$

Полученную расчетную величину округляем до ближайшего большего целого значения  $N = 10$  шт.

Активная нагрузка, приходящаяся на один цеховой трансформатор:

$$P_1 = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{N} = \frac{10878}{10} = 1087,8 \text{ кВт}. \quad (2.4.3)$$

Число трансформаторов  $N_i$ , которое следует установить в том или ином цехе

$$N_i = \frac{P_p + P_{p.o}}{P_1} \quad (4.6)$$

Таблица 2.4.1 – Число трансформаторов в цехе

№	Выбор числа трансформаторов	$\Sigma P$ , кВт	$N_{тр}$
1	Гидрокорпус	1350,231	1,24
2	Трансформаторный корпус	1163,997	1,07
3	Корпус крупных машин	1253,144	1,15
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	204,795	0,19
5	Изоляционный корпус	385,1531	0,35
6	Котельная	722,3563	0,66
7	Корпус высоковольтного оборудования	332,9375	0,31
8	Котельно-сварочный корпус	1785,1	1,64
9	Цех металлопокрытий	850,2188	0,78
10	Механический корпус	442,4438	0,41
11	Деревообрабатывающий корпус	286,27	0,26
12	Цех твердой изоляции	343,49	0,32
13	Инженерный корпус	703,6	0,65
14	Цех точного литья	290,94	0,27
15	Корпус А	477,52	0,44
16	Корпус по изготовлению трансформаторного оборудования	285,985	0,26

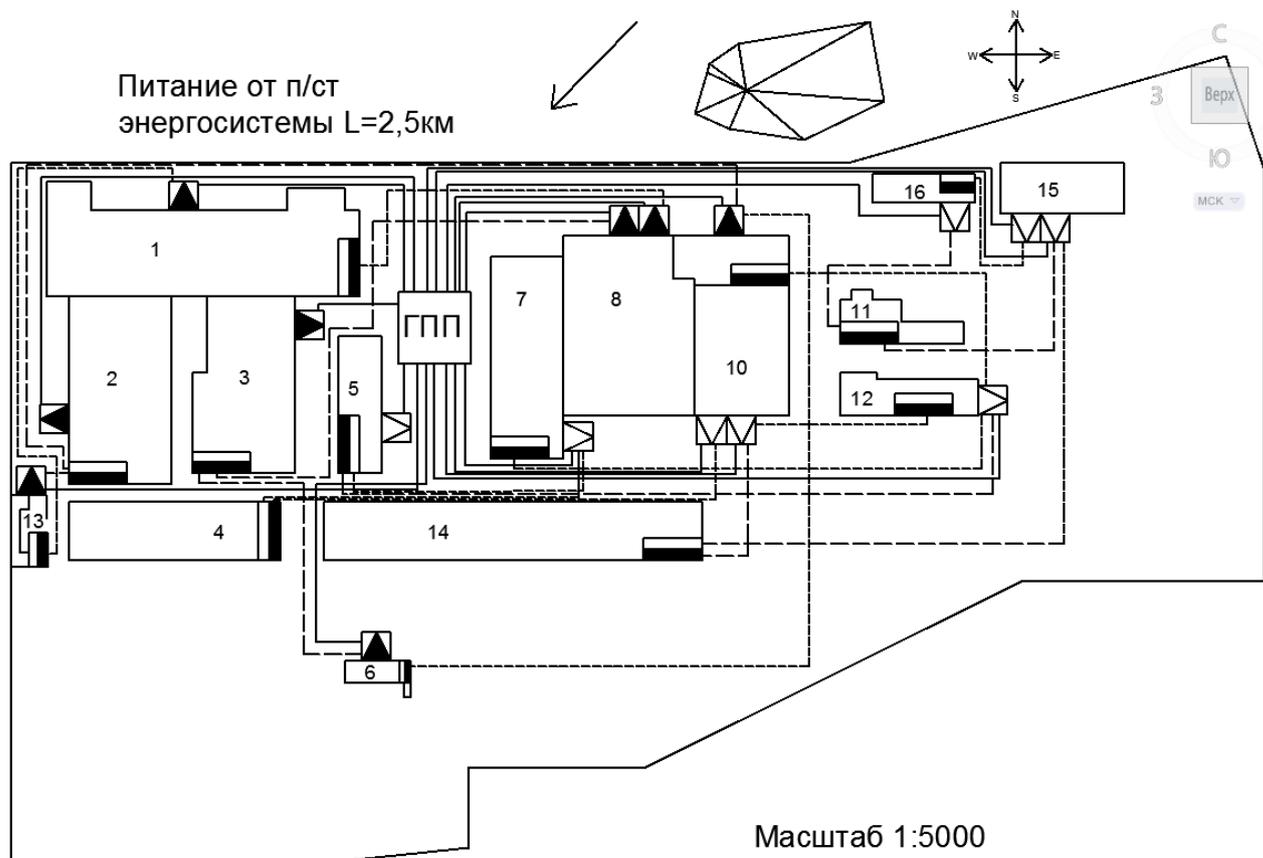
Данное техническое решение не удовлетворяет требованиям по снабжению цехов и загрузки трансформаторов. Для лучшего распределения энергии и сокращения количества низковольтных линий выбираем трансформаторы 2-х номиналов: 1600, и 630 кВА, при этом придерживаясь требуемого коэффициента загрузки: для потребителей II-категории  $\beta = 0,7 - 0,8$ . В предварительном выборе трансформаторов расчёт коэффициента загрузки производим по активной мощности.

Результаты выбора трансформаторов приведены в таблице 4.2.

Таблица 2.4.2 – Число трансформаторов в цехе

Наименование	Стр, количество	Расположение	Потребители	$\Sigma P$	$\Sigma Q$
ТП1	1x1600	Цех 1	1	1080,19	1494,22
ТП2	1x1600	Цех 2	2	1105,80	180,77
ТП3	1x1600	Цех 3	3	1065,17	844,96
ТП5	1x630	Цех 5	5	429,40	552,19
ТП7	1x630	Цех 7	7, 5, 4	435,34	481,65
ТП8	2x1600	Цех 8	8, 1, 3	1071,06	1127,58
ТП9	1x1600	Цех 9	9, 2	1117,98	1429,24
ТП10	2x630	Цех 10	10, 14, 4	353,96	390,84
ТП12	1x630	Цех 12	12, 5	494,85	414,14
ТП15	2x630	Цех15	15, 11, 14	429,77	394,40
ТП16	1x630	Цех16	16, 11	390,99	361,92
ТП13	1x1600	Цех13	13, 2	1114,56	1086,02
ТП6	1x1600	Цех6	6, 3	1273,89	1184,25

Техническое решение выбора количества трансформаторов изображено на рисунке 1.3



Условные обозначения:

- ▧ - Трансформаторная подстанция 630 кВА
- ▴ - Трансформаторная подстанция 1600 кВА
- ▬ - Распределительное устройство (0,38 кВ)

Рисунок 2.2– Техническое решение выбора количества трансформаторов

Выбор трансформаторов цеховых ТП Представлены в таблице 2.4.3.

Таблица 2.4.3 – Выбор трансформаторов цеховых ТП

	Тип трансформатора ТП	S <sub>ном</sub> ,кВА	Напряжение обмоток		Потери КЗ		U <sub>кз</sub> %	I <sub>хх</sub> ,%	Количество	Потери мощности		
			ВН	НН	ХХ	КЗ				ΔP <sub>тр</sub>	ΔQ <sub>тр</sub>	ΔS <sub>тр</sub>
ТП1	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3	1	17,13	88,40	90,04
ТП2	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3		12,13	63,96	65,10
ТП3	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3		11,93	63,00	64,12
ТП5	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2		8,10	39,26	40,08
ТП7	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2		5,68	29,38	29,92
ТП8	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3	2	12,10	63,83	64,97
ТП9	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3	1	14,06	73,39	74,73
ТП10	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	2	6,05	30,92	31,51
ТП12	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	1	6,99	34,75	35,45
ТП14	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2		6,98	34,69	35,38
ТП15	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	2	5,63	29,21	29,75
ТП16	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	1	5,80	29,87	30,42
ТП13	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3		14,13	73,75	75,09
ТП6	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3		17,63	90,85	92,55

## 2.5 Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых ТП и уточнение их нагрузки

Для снижения потерь в линиях и трансформаторах примем вариант компенсации реактивной мощности на напряжении 0,4 кВ непосредственно вблизи электроприёмников. КБ присоединяем к сборным шинам НН КТП и РУ.

$$N_0 = N + m = 10 \quad (2.5.1)$$

$$m = 1$$

где  $m$  определяется по графику 5.6[1].

при  $\Delta N = 0,01$  и  $N=7$  для 1600 кВА

при  $\Delta N = 0,1$  и  $N=7$  для 630 кВА

Реактивная мощность, которую возможно передавать через трансформаторы КТП в сеть напряжением до 1600 В при заданном коэффициенте загрузки, определяется соотношением

$$Q_1 = \sqrt{(N_{opt} \cdot \beta \cdot S_{н.м})^2 - P_p^2}, \quad (2.5.2)$$

где  $N_{opt}$  – оптимальное число трансформаторов на ТП;

$$m_{1600}=1, m_{630}=1$$

$\beta = 0,7$  – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме;

$S_{н.м}$  – номинальная мощность трансформаторов, установленных на ТП;

$P_p$  – расчетная активная нагрузка ТП на шинах 0,4 кВ.

Для ТП –1, ТМ-1600/10

$$Q_1 = \sqrt{(1 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 1080,2^2} = 295,97 \text{ кВАр}; \quad (2.5.3)$$

Выбираем мощность КУ близкую к расчетной реактивной мощности. С условием, что:

$$Q_p - Q_{ок} \leq Q_1 \quad [1] \quad (2.5.4)$$

$$Q_{окн1} = Q_p - Q_1 = 1494,22 - 295,97 = 1198,25$$

кВАр

$$Q_{\text{бкн2}} = Q_p - Q_{\text{бкн1}} - \gamma N_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр}} = 1494,22 - 295,97 - 0,5 \cdot 1600 \cdot 1 = 318,25; [1].$$

где  $\gamma$  зависит от  $K_{p1}$   $K_{p2}$

$$K_{p1} = 15$$

$$K_{p2} = 10$$

$$\gamma = 0,5$$

Для снижения потерь в линиях и трансформаторах была рассчитана компенсация реактивной мощности на напряжении 0,4 кВ. Так же мы выбрали мощность КУ.

Таблица 2.5.1 – Компенсация реактивной мощности

Наименование	Стр.	Расположение	Потребители	$\Sigma P$	$\Sigma Q$	$Q_{\max}$	$Q_{\text{бкн1}}$	N бк	факт. НБК	$Q_{\text{цехов}}$	МАРКА КБ
ТП1	1600	Цех 1	1	1080,19	1494,22	295,97	1198,25	2	603	376,43	УКМ 58-04-603-67У3
ТП2	1600	Цех 2	2	989,40	161,74	524,87	-363,13	-	-	217,09	0
ТП3	1600	Цех 3	3	877,20	695,85	696,36	-0,51	-	-	759,75	0
ТП7	630	Цех 7	7, 5, 4	332,94	380,97	289,19	91,79	1	100	310,14	УКМ 58-04-100-33,3У3
ТП8.1 и ТП8,2	1600	Цех 8	8, 1, 3	1090,23	1176,13	256,51	919,62	3	300	349,20	УКМ 58-04-300-33,3У3
ТП9	1600	Цех 9	9, 2	995,72	1171,14	512,78	658,35	2	335	564,65	УКМ 58-04-335-67У3
ТП10.1 и ТП10.2	630	Цех 10	10, 14, 4	345,44	368,37	274,14	94,23	1	100	297,67	УКМ 58-04-100-33,3У3

Окончание таблицы 2.5.1

Наименование	Стр.	Расположение	Потребители	$\Sigma P$	$\Sigma Q$	$Q_{max}$	$Q_{бкн1}$	№ бк	факт. НБК	$Q_{цехов}$	МАРКА КБ
ТП12	630	Цех 12	12, 5	323,09	322,71	300,16	22,55	1	300	44,47	УКМ 58-04-300-33,3У3
ТП5	630	Цех5	5	385,15	503,34	214,80	288,54	1	268	265,72	УКМ 58-04-268-67У3
ТП15.1 и ТП15.2	630	Цех15	15, 11 , 14	433,98	389,85	78,39	311,46	1	300	119,60	УКМ 58-04-300-33,3У3
ТП16	630	Цех16	16, 11	429,12	363,82	101,67	262,15	1	150	246,49	УКМ 58-04-150-30У3
ТП13	1600	Цех13	13, 2	849,10	650,76	730,36	-79,60	-	-	710,90	0
ТП6	1600	Цех 6	6, 3	972,99	840,10	554,71	285,39	1	268	636,70	УКМ 58-04-268-67У3

## 2.6 Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения

Электроснабжение комбината осуществляется от подстанции энергосистемы по двум ВЛЭП напряжением 110 кВ.

При наличии одного источника питания в целях резервирования принимается схема внешнего электроснабжения по двум радиальным линиям (ГПП с двумя трансформаторами связи).

ГПП размещается на территории предприятия в соответствии с расчетным центром электрических нагрузок. На ГПП установлены два двухобмоточных трансформатора ТДН – 16000/110. РУ 10 (кВ) ГПП принимаем закрытым. На стороне 10 (кВ) принимаем обходную систему шин секционированную вакуумным выключателем с устройством АВР.

Обоснованность данного решения представлена ниже.

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{Pp}}} = \frac{1000}{\sqrt{2,5 + \frac{2500}{10857,8}}} \approx 70,7 [V] \quad (2.6.1)$$

Мощность трансформаторов на ГПП определяем по формуле:

$$S_{н.тр.} = \frac{S_{р.ГПП}}{2 \cdot \beta_T}, \quad (2.6.2)$$

где  $S_{р.ГПП}$  – полная расчётная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП;

$\beta_T = 0,7$  – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП, [1];

2 – число трансформаторов на ГПП.

Получаем:

$$S_{н.тр.} = \frac{15359,5}{2 \cdot 0,7} = 10971 \text{ [кВА]}. \quad (2.6.3)$$

Полученное значение  $S_{н.тр}$  округляем до ближайшего большего стандартного значения и в соответствии с [5, табл. П.2.28] принимаем установку на ГПП двух трансформаторов типа ТДН – 16000/110.

С учетом того, что в нормальном режиме коэффициент загрузки трансформаторов ГПП принимается равным 0,7, в послеаварийном режиме любой из трансформаторов с учетом допустимой перегрузки (до 40 %) обеспечит полностью необходимую мощность комбината, так как

$$S_{р.ГПП} < 1,4 \cdot S_{н.тр}, [1]. \quad (2.6.4)$$

$$15359,5 \text{ [кВА]} < 16000 \text{ [кВА]}$$

Питающие линии выполняются проводом АС. Выбор сечения провода производим по экономической плотности тока.

$$I_p = \frac{S_{р.ГПП}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}; [1]. \quad (2.6.5)$$

$$I_p = \frac{15359,5 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 40,35 \text{ [А]}$$

В послеаварийном режиме или ремонтном:

$$I_{н.а.} = \frac{S_{р.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_n}; \quad (2.6.6)$$

$$I_{н.а.} = \frac{15359,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 80,7 \text{ [А]}$$

При числе смен, равным 2, и продолжительности смены, равной 8 часам, принимаем годовое число часов использования максимума нагрузки  $T_M=4200$  часов. [3, табл.2.1]

При  $T_M=4200$  часов для алюминиевых голых проводов принимаем экономическую плотность тока равной  $j_{эк}=1,1 \text{ [А/мм}^2\text{]}$ . [3, табл.3.12]

Экономически целесообразное сечение проводов равно:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{j_{\text{ЭК}}}; \quad (2.6.7)$$

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{40,35}{1,1} = 36,7 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения и принимаем в качестве ВЛЭП провода марки АС–50/8. Допустимый длительный ток для выбранного сечения равен  $I_{\text{доп}}=210 \text{ [А]}$ . [6, табл.3.1]

Выбранное сечение провода должно быть проверено по допустимой токовой нагрузке по нагреву  $I_{\text{доп}}$ :

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} \geq I_{\text{п.а}}, \quad (2.6.8)$$

где  $I_{\text{доп}}$  – допустимый ток, [А], для выбранного сечения.

$273 \text{ [А]} \geq 66,7 \text{ [А]}$  – условие выполняется.

Кроме этого, выбранное сечение провода проверяется:

а) по условиям коронирования проводов

В нашем случае ВЛ 110 кВ  $F=50 \text{ [мм}^2\text{]}$ , однако условиям короны минимальное сечение проводников на данное напряжение должно быть не менее  $70 \text{ мм}^2$ , поэтому принимаем  $F=70 \text{ [мм}^2\text{]}$ .

б) по условиям механической прочности:

$$F_{\text{расч}} \geq F_{\text{мин.мех}} = 25 \text{ [мм}^2\text{]}, [3.] \quad (2.6.9)$$

$70 \text{ [мм}^2\text{]} \geq 25 \text{ [мм}^2\text{]}$  – условие выполняется;

в) по допустимой потере напряжения:

$$I_{\text{доп}} = I_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_z \geq 1 [1]. \quad (2.6.10)$$

где  $l_{\Delta U 1\%}$  – длина линии при полной нагрузке на 1 % потери напряжения, км;

$\Delta U_{\text{доп}\%}$  – допустимая потеря напряжения, %,

$\Delta U_{\text{доп}\%} = 5\%$ ,  $\Delta U_{\text{доп.ав}\%} = 10\%$ ;

$K_3 = \frac{I_{\text{доп}}}{I_p}$  – коэффициент обратный коэффициенту загрузки линии;

$l_{\text{доп}}$  – допустимая длина линии, км;

$l$  – фактическая длина линии, км.

По табл. П.2.7 [3] принимаем  $l_{\Delta U 1\%} = 2,19$  [км].

Тогда:

$$l_{\text{доп}} = 2,19 \cdot 5 \cdot \frac{210}{33,4} = 68,84 \text{ [км]}$$

Фактическая длина линии  $l = 2,5$  [км]

$68,84$  [км] >  $2,5$  [км], проверка сечения провода по допустимой потере напряжения выполняется.

Таким образом, электроснабжение горно-металлургического комбината осуществляется от подстанции энергосистемы по двум ВЛЭП напряжением 110 кВ, выполненным проводом АС–70/11 на металлических двухцепных опорах.

ГПП расположена в зоне рассеяния ЦЭН. На ГПП установлены два трансформатора типа ТДН–16000/110. На стороне 10 кВ принята одинарная система шин.

## 2.7 Система внутривозовского электроснабжения

Распределительная сеть выше 1000 В по территории горно-металлургического комбината выполняется кабельными линиями. Прокладка кабелей осуществляется в кабельных траншеях.

Выбор сечений кабелей производим по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение  $F$ , мм<sup>2</sup>, определяем из выражения:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (2.7.1)$$

где  $I_p$  – расчётный ток на один кабель, А;

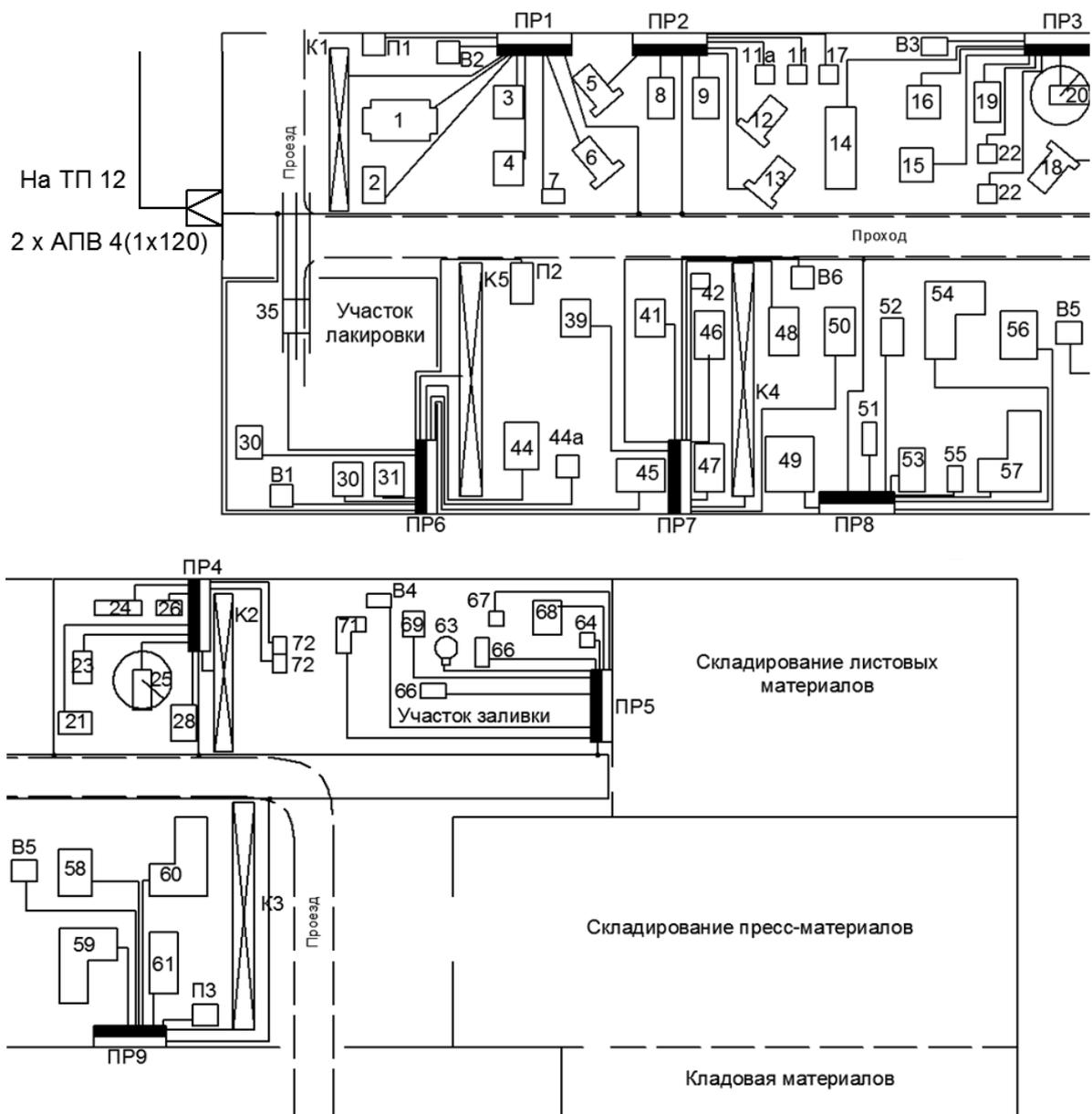
$j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>.

Для высоковольтных кабелей из сшитого полиэтилена при  $T_m = 4200$  часов принимаем  $j_{\text{эк}} = 1,2$  А/мм<sup>2</sup> [3, табл. П.2.14].

Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток должен соответствовать условиям нормальной работы, при его определении не следует учитывать увеличение тока при аварийных ситуациях. Расчетным током линии для питающих цеховых трансформаторов, преобразователей, высоковольтных электродвигателей и трансформаторов электропечей является их номинальный ток, независимо от фактической загрузки.

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учетом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме. Для загруженных и длинных линий проведем проверку выбранного сечения по допустимой потере напряжения.

На рисунке 2.3 представлена схема внутрицехового электроснабжения



Условные обозначения:

▢ - Трансформаторная подстанция 630 кВА    — - Силовой распределительный пункт

Рисунок 2.3 – Схема внутрицехового электроснабжения

Выбор кабеля для линии Л-1 (ГПП – ТП1):

Рассматриваются две параллельные линии, идущие с разных секций ГПП до ТП-1.

Расчетный ток на один кабель:

$$I_p = \frac{n \cdot S_{н.гр.} + \Delta S_{гр.}}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} [1]. \quad (2.7.2)$$

$$I_{p11} = \frac{1 \cdot 1600 \cdot 10^3 + 90,3 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 48,8 \text{ [A]}$$

Экономически целесообразное сечение:  $F_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{j_{\text{ЭК}}}$

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{48,8}{1,2} = 40,7 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение  $F=50 \text{ [мм}^2\text{]}$ :  $I_{\text{доп}}=175 \text{ [A]}$  [1, П.6.4].

Учитывая поправочный коэффициент для 3х кабелей , проложенных по одной траншее  $k_{\text{прокл}} = 0,87$  при расстоянии 200 мм в свету [1, П.6.6.] принимаем температуру в земле  $15^0$   $K_T=1$ , получаем  $I'_{\text{доп}} = k_{\text{прокл}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,87 \cdot 175 = 152,25 \text{ [A]}$ .

Проверка выбранного сечения:

- в нормальном режиме:  $I_p \leq I'_{\text{доп}}$  (2.7.3)

$$48,8 \text{ [A]} < 152,25 \text{ [A]};$$

$$97,6 \text{ [A]} < 200,55 \text{ [A]}.$$

Таким образом, выбранное сечение проходит проверку по нормальному и послеаварийному режимам. В качестве линии Л-1 принимаем кабель марки АПвП – 3(1х50).

Таблица 2.7.1 – Выбор сечений кабельных линий распределительной сети 10 кВ

№, линии	Назначение линии	Nл	Расчетная нагрузка на 1 кабель		Fэк	Принятое сечение	Длина линии	r0	x0	способ прокладки	Kпр	Марка и сечение кабеля
			норм. р.	п/а								
Л1	ГПП-ТП1	1	48,8	97,6	40,7	50	0,15	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)
Л2	ГПП-ТП2	2	48,1	96,1	39,8	50	0,45	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)
Л3	ГПП-ТП3	3	48,0	96,1	40,1	50	0,065	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)
Л5	ГПП-ТП4	4	19,3	38,7	15,9	50	0,15	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)
Л7	ГПП-ТП7	5	19,1	38,1	40,3	50	0,15	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)
Л8	ГПП-ТП8	6	48,1	96,1	80,1	95	0,2	0,195	0,329	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x95)
Л9	ГПП-ТП9	7	48,3	96,7	15,9	50	0,25	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)
Л10	ГПП-ТП10	8	19,1	38,2	31,4	50	0,325	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)
Л12	ГПП-ТП12	9	19,2	38,4	15,9	50	0,075	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)

Окончание таблицы 2.7.1

№, линии	Назначение линии	Nл	Расчетная нагрузка на 1 кабель		Fэк	Принятое сечение	Длина линии	r0	x0	способ прокладки	Kпр	Марка и сечение кабеля
			норм. р.	п/а								
Л14	ГПП-ТП4	10	19,2	38,4	15,9	50	0,45	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)
Л15	ГПП-ТП15	11	19,0	38,1	31,9	50	0,425	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)
Л16	ГПП-ТП16	12	19,1	38,1	40,0	50	0,325	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)
Л13	ГПП-ТПУ13	13	48,4	96,7	40,1	50	0,275	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП – 3(1x50)

Таблица 2.7.2 – Выбор сечений кабельных линий распределительной сети 0,4 кВ

№,линии	Назначение линии	N	В норм.	Марка и сечение	I доп	Кпрокл	Идоп·Кпр	1,3·Идоп	Длина	r0	x0
л-1	ТП6 - РУ3	2	76,24	АпВп - 4(1x50)	175	0,87	140,679	218,75	0,225	0,64	0,07
л-2	ТП8.1 -РУ1	2	82,15	АпВп - 4(1x50)	175	0,87	140,679	218,75	0,175	0,64	0,07
л-3	ТП8.1 - РУ3	2	38,12	АпВп - 4(1x25)	115	0,87	92,4462	143,75	0,35	1,28	0,07
л-4	ТП9 - РУ2	2	44,26	АпВп - 4(1x35)	140	0,87	112,5432	175	0,5	0,92	0,07
л-5	ТП7 - РУ4	2	3,11	АпВп - 4(1x4)	38	0,87	30,54744	47,5	0,3	7,9	0,07
л-6	ТП7 - РУ5	2	5,85	АпВп - 4(1x4)	38	0,87	30,54744	47,5	0,125	7,9	0,07
л-7	ТП10.1 - РУ4	2	62,3	АпВп - 4(1x50)	175	0,87	140,679	218,75	0,375	0,64	0,07
л-8	ТП10.2 - РУ14	2	13,27	АпВп - 4(1x16)	90	0,87	72,3492	112,5	0,15	1,98	0,07
л-9	ТП13 - РУ2	2	44,26	АпВп - 4(1x35)	140	0,87	112,5432	175	0,05	0,92	0,07
л-10	ТП12 -РУ5	2	1,17	АпВп - 4(1x4)	38	0,87	30,54744	47,5	0,425	7,9	0,07
л-11	ТП15.1 - РУ11	2	43,54	АпВп - 4(1x35)	140	0,87	112,5432	175	0,125	0,92	0,07
л-12	ТП15.2 - РУ14	2	75,23	АпВп - 4(1x50)	175	0,87	140,679	218,75	0,45	0,64	0,07

Окончание таблицы 2.7.2

№, линии	Назначение линии	N	В норм.	Марка и сечение	I доп	Кпрокл	Идоп·Кпр	1,3·Идоп	Длина	r0	x0
л-13	ТП16 - РУ11	2	43,54	АпВп - 4(1x35)	140	0,87	112,5432	175	0	0,92	0,07
л-14	ТП9 - РУ6	2	219,76	АпВп - 4(1x150)	335	0,87	269,2998	418,75	0,525	0,21	0,07
л-15	ТП12 - РУ7	2	101,28	АпВп - 4(1x70)	210	0,87	168,8148	262,5	0,225	0,46	0,07
л-16	ТП10 - РУ12	2	98,29	АпВп - 4(1x70)	210	0,87	168,8148	262,5	0,075	0,46	0,07
л-17	ТП1 - РУ13	2	88,51	АпВп - 4(1x70)	210	0,87	168,8148	262,5	0,4	0,46	0,07
л-18	ТП15 - РУ16	2	145,27	АпВп - 4(1x95)	255	0,87	204,9894	318,75	0,05	0,34	0,07
л-19	ТП12 - РУ9	2	258,66	АпВп - 4(1x185)	385	0,87	309,4938	481,25	0,125	0,17	0,07

## 2.8 Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

Все электрические аппараты и токоведущие части электрических установок должны быть выбраны таким образом, чтобы исключалось их разрушение при прохождении по ним наибольших возможных токов КЗ, в связи с чем возникает необходимость расчёта этих величин.

Для расчёта токов КЗ составляется расчётная схема – упрощенная однолинейная схема электроустановки, в которой учитываются все источники питания (п/ст энергосистемы, генераторы ТЭЦ), трансформаторы, воздушные и кабельные линии.

Расчёт токов КЗ будем проводить для участка распределительной сети 10 кВ ГПП –ТП1. Для данного участка составляем расчётную схему и схему замещения, представленные ниже.

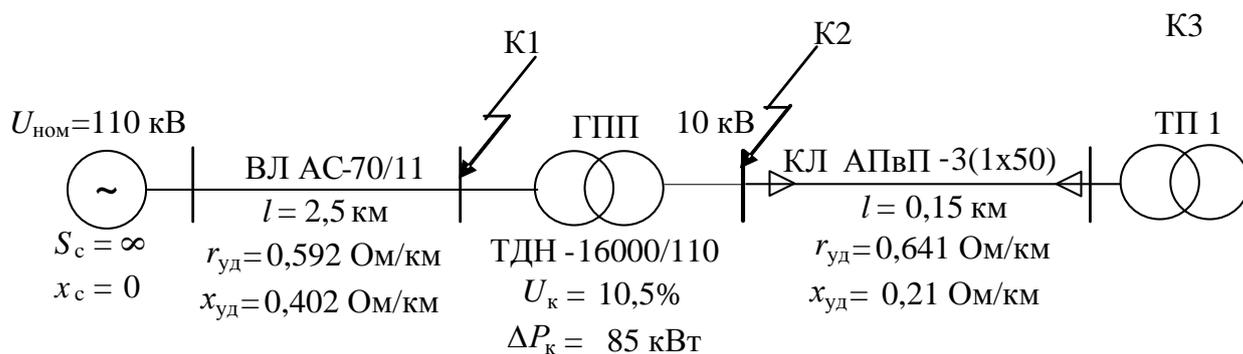


Рисунок 2.8.1 – Однолинейная расчетная схема сети

По расчётной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех элементов и намечаются точки для расчётов токов КЗ.

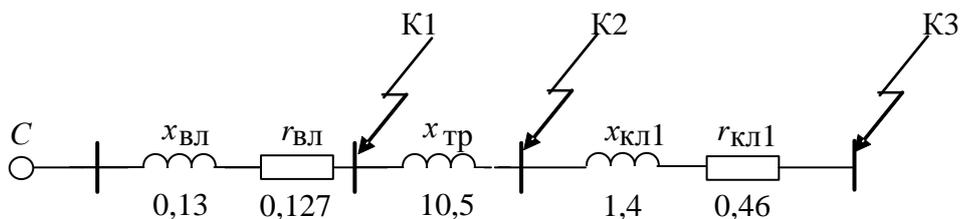


Рисунок 2.8.2 – Упрощенная однолинейная схема замещения.

Расчёт токов КЗ ведётся в относительных единицах. Для этого все расчётные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности. Величина базисного напряжения  $U_{\sigma}$  превышает номинальное на 5%. За базисную мощность  $S_{\sigma}$  принимают любое число кратное 10.

Используя стандартный ряд базисных напряжений, принимаем  $U_{\sigma 1} = 115$  [кВ],  $U_{\sigma 2} = 10,5$  [кВ]. [1, стр.147].

За базисную мощность, принимаем  $S_{\sigma} = 1600$  [МВА]. [3, стр.147]

Принимаем, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы)  $S_c = \infty$  и соответственно индуктивное сопротивление  $x_c = 0$

Принимаем базисные токи:

$$I_{*\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma 1}} \quad (2.8.1)$$

$$I_{*\sigma 1} = \frac{1600 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 10^3} = 8,03 \text{ [кА];}$$

$$I_{*\sigma 2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma 2}}$$

(2.8.2)

$$I_{*62} = \frac{1600 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 87,9 \text{ [кА]};$$

Для генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий обычно учитываются только индуктивные сопротивления.

Базисные сопротивления в относительных единицах определяются по следующим формулам:

для воздушной линии:

$$X_{*вл} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2}, \quad (2.8.3)$$

где  $x_0=0,432$  Ом/км независимо от сечения ВЛЭП.

$$X_{*вл} = 0,432 \cdot 2,5 \cdot \frac{1600}{115^2} = 0,13 \text{ [о.е.]};$$

$$R_{*вл} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2}, \quad (2.8.4)$$

где  $r_0=0,422$  Ом/км независимо от сечения ВЛЭП.

$$R_{*вл} = 0,422 \cdot 2,5 \cdot \frac{1600}{115^2} = 0,127 \text{ [о.е.]}$$

для трансформатора:

$$X_{*тр} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.тр}}, \quad (2.8.5)$$

где  $U_{к\%}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА.

$$X_{*тр} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1600}{16} = 10,5 \text{ [о.е.]};$$

для кабельной линии:

$$X_{*кЛ1} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2}, \text{ где } x_0 - \text{индуктивное сопротивление линии на один км}$$

длины, Ом/км,  $x_0=0,21$  Ом/км для сечения жилы – 50 мм<sup>2</sup>. [7, табл. 8.2.13]

$l$  – длина линии, км.

$$X_{*кЛ1} = 0,21 \cdot 0,15 \cdot \frac{1600}{10,5^2} = 0,46 \text{ [о.е.]};$$

$$R_{*кЛ1} = R_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} \text{ где } r_0 - \text{активное сопротивление линии на один км}$$

длины, Ом/км,  $r_0=0,641$  Ом/км для сечения жилы – 50 мм<sup>2</sup>. [7, табл. 8.2.15.]

$l$  – длина линии, км.

$$R_{*кЛ1} = 0,641 \cdot 0,15 \cdot \frac{1600}{10,5^2} = 1,4 \text{ [о.е.]};$$

Проведем расчет токов КЗ для точки К1:

Сопротивление короткого замыкания:

так как  $r_{\Sigma} > X_{\Sigma}/3$  не выполняется

$0,46[\text{о.е.}] < 1,4[\text{о.е.}]$ , то целесообразно учитывать активное сопротивление воздушной линии.

$$z_{*\Sigma \text{ К1}} = \sqrt{X_{*ВЛ}^2 + R_{*ВЛ}^2} \tag{2.8.6}$$

$$z_{*\Sigma \text{ К1}} = \sqrt{0,13^2 + 0,13^2} = 0,18 \text{ [о.е.]};$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{\text{К1}} = \frac{I_{61}}{z_{*\Sigma \text{ К1}}}, \tag{2.8.7}$$

$$I_{K1} = \frac{8,03 \cdot 10^3}{0,18} = 37,56 \text{ [кА];}$$

Ударный ток:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K1}, \quad (2.8.8)$$

где  $k_{уд}$  – ударный коэффициент,  $k_{уд} = 1,05$  – система, связанная с шинами, где рассматривается КЗ, воздушными линиями, напряжением 110 кВ [1.рис 7.1].

$$i_{уд K1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 37,56 = 55,3 \text{ [кА]},$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{K1} = \frac{S_{\delta}}{z_{*\Sigma K1}}, \quad (2.8.9)$$

$$S_{K1} = \frac{1600}{0,18} = 8889 \text{ [МВА]}.$$

Проведем расчет токов КЗ для точки К2:

Сопротивление короткого замыкания:

$$z_{*\Sigma K2} = \sqrt{1,52^2 + 11,09^2} = 11,19 \text{ [о.е.]} \quad (8.10)$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{K2} = \frac{I_{\delta 2}}{z_{*\Sigma K2}}, \quad (2.8.10)$$

$$I_{K2} = \frac{87,97 \cdot 10^3}{11,19} = 8,28 \text{ [кА];}$$

Ударный ток:

$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K2}$ , где  $k_{уд}$  – ударный коэффициент, в цепи без учета активного сопротивления  $k_{уд} = 1,95$

$$i_{уд K2} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 8,28 = 22,59 \text{ [кА]},$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{K2} = \frac{S_6}{z_{*\Sigma K2}},$$

$$S_{K2} = \frac{1600}{11,19} = 134,45 \text{ [МВА]}.$$

Проведем расчет токов КЗ для точки КЗ:

Сопротивление короткого замыкания:

так как  $r_{\Sigma} < X_{\Sigma}/3$ , то учитывать активное сопротивление воздушной линии не будем.

$$z_{*\Sigma K3} = X_{*вл} + X_{*гр} + X_{*кл1} \quad (2.8.11)$$

$$z_{*\Sigma K3} = 0,13 + 10,5 + 0,46 = 11,16 \text{ [о.е.]};$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{K3} = \frac{87,98 \cdot 10^3}{11,19} = 7,86 \text{ [кА]};$$

Ударный ток:

$$i_{уд K3} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 7,86 = 17,61 \text{ [кА]},$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{K3} = \frac{1600}{11,19} = 142,98 \text{ [МВА]}$$

Результаты сведем в таблицу 7.1:

Таблица 2.8.1 – Расчет токов КЗ в сети выше 1000 В для участка Система – ГПП – ТП1.

Расчетные точки	Z	I <sub>кз</sub> ,кА	I <sub>y</sub> ,кА	S,МВА
К-1	0,18	37,56	64,65	8889
К-2	11,19	8,28	22,59	134,45
К-3	11,16	7,86	17,61	142,98

Используя полученные значения токов короткого замыкания, проверим принятые ранее сечения кабелей на термическую стойкость при КЗ в начале линии. Термически стойкое сечение:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T}, [1].$$

(2.8.12)

где  $B_K = I_K^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a)$  – тепловой импульс тока КЗ,  $[A^2 \cdot c]$ ;

$T_a$  – постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ, принимаем равной 0,02 [с];

$t_{\text{отк}} = t_3 + t_B$  – время отключения КЗ, [с];

$t_3$  – время действия основной защиты, 0,03 [с]. [9]

$t_B$  – полное время отключения выключателя; учитывая, что в ЗРУ ГПП установлены вакуумные выключатели ВЭ10-40-1600УЗ, то  $t_B = 0,08$  [с];

$C_T$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника, принимаем равным  $65 \left[ \frac{\text{А} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}}}{\text{мм}^2} \right]$ . [1]

Проверяем линию ГПП– ТП-1:

$$I_{\text{КЗ}} = 8,28 \text{ [кА]}$$

$$(t_{\text{отк}} + T_a) = 0,03 + 0,08 = 0,11 \text{ [с]},$$

$$B_{\text{к}} = 8,28^2 \cdot 0,11 = 9,73 \cdot 10^6 \text{ [А}^2 \cdot \text{с]}$$

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{9,73 \cdot 10^6}}{65} = 47,9 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Полученное значение минимального сечения показывает, что выбранный кабель, для данного участка распределительной сети АПвП – 3(1х50) проходит проверку на термическую стойкость при КЗ в начале линии

## 2.9 Выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей в сети выше 1000 В

Выбор высоковольтного выключателя

выбираем ВЭ10-40-1600/УЗ

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ}, I_{ном} = 1600 \text{ А}, I_{ном,откл} = 40 \text{ кА}, i_{уд} = 100 \text{ кА}$$

Проверяем выключатель по следующим условиям:

1) Номинальное напряжение:  $U_{уст} \leq U_{ном}$  ( $10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}$ ) (2.9.1)

2) Номинальный ток:  $I_{ном} \leq I_{ном}$  ( $1231 \text{ А} \leq 1600 \text{ А}$ ) (2.9.2)

3) Отключающая способность:

$$I_{n,\tau} \leq I_{отк, ном} \quad (37,56 \text{ кА} = 40 \text{ кА}) \quad (2.9.3)$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,ном} \quad (2,488 \text{ кА} \leq 8,485 \text{ кА}) \quad (2.9.4)$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n I_{отк, ном} / 100 = \sqrt{2} \cdot 60 \cdot 10 / 100 = 8,485 \text{ кА} \quad (2.9.5)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 4,783 \cdot e^{\frac{-0,05}{0,05}} = 2,488 \text{ кА},$$

где  $T_a = 0,05 \text{ с}$ ;

$$\tau = t_{p.з.} + t_{c.в.} = 0,05 \text{ с}$$

4) Электродинамическая стойкость:

$$I_{n0} \leq I_{дин} \quad (64,65 \text{ кА} \leq 100 \text{ кА})$$

5) Термическая стойкость:

$$I_{кз} = 8,28 \text{ [кА]}$$

$$(t_{отк} + T_a) = 0,01 + 0,08 = 0,09 \text{ [с]},$$

$$B_k = 8,28^2 \cdot 0,09 = 6,17 \cdot 10^6 \text{ [A}^2 \cdot \text{c]}$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{6,17 \cdot 10^6}}{65} = 38,2 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Выбор трансформаторов тока.

Выбираем ТОЛ 10[5]

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}, I_{\text{ном}}^1 = 1500 \text{ А}, I_{\text{ном}}^2 = 15 \text{ А}$$

Проверяем трансформатор тока по следующим условиям:

1) Номинальное напряжение:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} \quad (10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ})$$

2) Номинальный ток:

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}} \quad (1231 \text{ А} \leq 1500 \text{ А})$$

3) Электродинамическая стойкость:

$$i_y \leq i_{\text{дин}} \quad (64,65 \text{ кА} \leq 100 \text{ кА}),$$

4) Термическая стойкость:

$$B_k \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} \quad (6,17 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 150 \text{ кА}^2 \cdot \text{с})$$

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} [1].$$

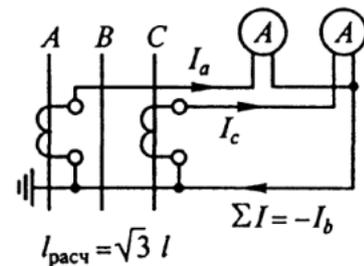


Таблица 2.9.1 – Установленные на ГПП счетчики.

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Амперметр показывающий	Э – 365	0,5	-	-
Ваттметр	Д – 335	0,5	-	0,5
Счетчик активной и реактивной энергии	СЕ302-S33	5	-	5
Итого		6	-	5,5

Общее сопротивление приборов определяется по выражению:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6}{5^2} = 0,24 \text{ Ом}$$

Сопротивление контактов  $r_k = 0,1$  Ом при общем числе приборов более трех;

$$z_{2\text{ном}} = 0,8 \text{ Ом.}$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_k = 0,8 - 0,24 - 0,1 = 0,46 \text{ Ом};$$

Длина проводов  $l_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot 5 = 8,66$  - расчетная длина соединительных проводов при включении трансформаторов тока и приборов в неполную звезду,  $l = 5$  м – длина соединительных проводов от трансформатора тока до приборов (в один конец), [2, стр. 375].

$$\text{Определяем сечение проводов: } q = \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 8,66}{0,46} = 0,533 \text{ мм}^2 \text{ мм}^2;$$

$\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$  – удельное сопротивление материала проводника – алюминий.

По условию прочности принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил – 4 мм<sup>2</sup>.

Трансформатор напряжения (ТВ)

Выбираем ЗНОЛ.09[5].

$$U_{ном} = 10кВ, U_{ном}^1 = 10000 / \sqrt{3} В, U_{ном}^{2осн.втор.} = 100 / \sqrt{3} В, U_{ном}^{2доп.втор.} = 100 В$$

Проверяем трансформатор напряжения по следующим условиям:

1) Номинальное напряжение:  $U_{уст} \leq U_{ном}$  (10кВ = 10кВ)

Таблица 2.9.2 – Характеристики приборов

Прибор	Тип	Р одной обмотки и ВА	Число обмоток	cosφ	sinφ	Число приборов	Общая потребляемая мощность		
							Р, Вт	Q, ВАр	
Вольтметр (сборные шины)	Э-335	2	1	1	0	1	2	-	
Варметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-	
Счетчик активной энергии	Ввод 10 кВ от трансформатора	И-674	3 Вт	2	0,38	0,93	1	6	14,5
Счетчик реактивной энергии		И-673	3 Вт	2	0,38	0,94	1	6	14,5
Счетчик активной и реактивной энергии	Кабельные линии 10кВ	S33	6 Вт	2	0,38	0,93	1	36	87
Итого							53	116	

$$P = S \cdot n_{обм} \cdot n_{приб} = 6 \cdot 2 \cdot 3 = 36 Вт$$

$$Q = P \cdot tgφ = 36 \cdot 2,43 = 87 ВАр$$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{36^2 + 87^2} = 145,52 \text{ ВА}$$

Три трансформатора напряжения, соединенных в звезду, имеют мощность  $75 \cdot 3 = 225 \text{ ВА}$ , что больше  $S_{2\Sigma}$ . Таким образом, трансформаторы напряжения будут работать нормально в выбранном классе точности 0,5.

## 2.10 Электроснабжение цеха твердой изоляции

Электроснабжение цеха выполняется в следующей последовательности.

1. Приёмники цеха распределяются по пунктам питания (силовым распределительным шкафам), выбирается схема и способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пунктов питания). Принятая схема (радиальная, магистральная, смешанная) питающей сети должна обеспечивать требуемую надёжность питания приёмников и требуемую по технологическим условиям гибкость, и универсальность сети в отношении присоединения новых приёмников и перемещения приёмников по площади цеха. Выбор способа прокладки питающей сети производится с учётом характера окружающей среды и возможных условий места прокладки. Исполнение силовых распределительных пунктов и шинопроводов должно также соответствовать характеру окружающей среды.

2. Определяются расчётные электрические нагрузки по пунктам питания цеха.

3. Производится выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверка их по потере напряжения.

4. Производится выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты и управления цеха.

5. Для участка цеховой сети (от вводного автомата на подстанции до самого мощного электроприёмника) строится карта селективности действия аппаратов защиты.

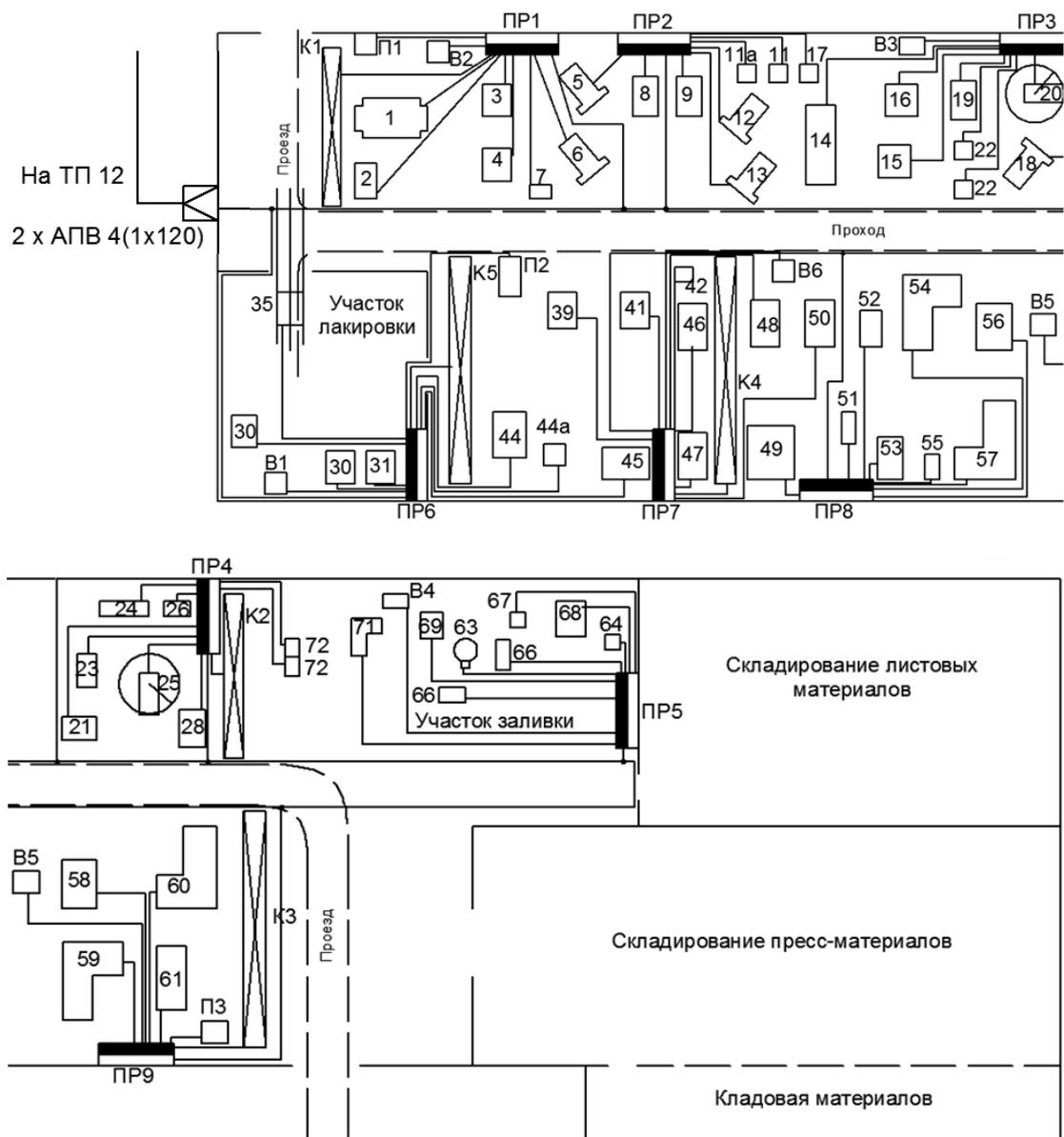
6. Производится расчёт питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприёмника для режимов максимальной, минимальной и послеаварийной нагрузок.

7. Производится расчёт токов короткого замыкания для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприёмника цеха. Полученные данные наносятся на карту селективности действия аппаратов защиты.

Графическое изображение системы внутрицехового электроснабжения см. Приложение В.

Распределение электроприёмников по пунктам питания осуществляется путём подключения группы электроприёмников к соответствующему распределительному пункту ПР. Так как ПР бывают различных типов и имеют определённое число присоединений (до 12), то для каждого электроприёмника необходимо выбрать автоматический выключатель, а затем, зная тип автоматического выключателя, подключить его к соответствующему ПР. Кроме того, для каждого ПР необходимо выбрать защитный аппарат.

Намечаем радиальную схему питающей сети цеха. Способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пунктов питания) – в каналах.(см.Приложение).



Условные обозначения:

- Трансформаторная подстанция 630 кВА   
 - Силовой распределительный пункт

Рисунок 2.4 – Схема внутрицехового электроснабжения

### 2.11 Выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей в сети до 1000 В

Условия выбора автоматических выключателей:

$$1. \quad I_{н.расч} \geq I_{дл}; \quad (2.11.1)$$

$I_{дл} = I_{ном}$  для отдельного ЭП,

$I_{дл} = I_p$  для группы ЭП.[1].

$I_{н.расц}$  -номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя.

2.  $I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{пуск}$  – для отдельного ЭП, (2.11.2)

$I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{тик}$  – для группы ЭП,

$I_{кз} = k \cdot I_{н.расц}$  - номинальный ток срабатывания уставки в зоне кз.[1]. (2.11.3)

Пример расчёта:

АВ на отдельные ЭП (Станок специальный для резки)

Выбираем автомат серии ВА51Г,  $I_{ном} = 25 \text{ А}$ .

Далее определяем условия выбора:

$$I_{н.расц} \geq I_{дл};$$

$$I_{н.расц} = 25 \text{ А};$$

$$I_{дл} = 18,2 \text{ А};$$

$$I_{кр} = 5 \cdot I_{ном} = 5 \cdot 18,2 = 91 \text{ А};$$

$$I_{пуск} = 1,5 \cdot I_{кр} = 1,5 \cdot 91 = 136 \text{ А};$$

$$I_{кз} = 175 = 136 \text{ А}$$

Выбираем автомат ВА51Г-25.

Номинальный ток автомата  $I_{ном} = 25 \text{ A}$ , номинальный ток расцепителя  $I_{н.расц} = 25 \text{ A}$ , уставка мгновенного срабатывания  $I_{кз} = 175 \text{ A}$

Таблица 2.11.1 – Защитные аппараты для электроприёмников цеха.

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном,А}$	$I_{кр,А}$	$I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР1	Станок специальный для резки	5,5	0,5	18,2	91	136,2	ВА51Г-25	25	175
ПР1	Дисковая пила	5,5	0,5	18,2	91	136,2	ВА51Г-25	25	175
ПР1	Дисковая пила	5,5	0,5	18,2	91	136,2	ВА51Г-25	25	175
ПР1	Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,5	18,8	94	141,0	ВА51Г-25	25	175
ПР1	Дисковая пила с водяным охлаждением	4	0,5	13,2	66	99,1	ВА51Г-25	25	175
ПР1	Вертикально-фрейзерный станок	8,8	0,5	29,1	145	218,0	ВА51-31	40	280
ПР1	Вертикально-сверлильный станок	3,5	0,5	11,6	58	86,7	ВА51Г-25	25	175
ПР1	Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	12,0	60	90,3	ВА51-31	16	128
ПР1	Приточный вентилятор	15	0,85	29,1	146	218,6	ВА51-31	40	280
ПР2	Горизонтально-фрейзерный станок	9,1	0,5	30,1	150	225,4	ВА51-31	40	320

Продолжение таблицы 2.11.1

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном, А}$	$I_{кр, А}$	$I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н. АВ}$	$I_{кз}$
ПР2	Вертикально-сверлильный станок	4,6	0,5	15,2	76	114,0	ВА51Г-25	25	175
ПР2	Вертикально-сверлильный станок	4,6	0,5	15,2	76	114,0	ВА51Г-25	25	175
ПР2	Станок с абразивным кругом	0,5	0,5	1,7	8	12,4	ВА51-25	2,5	17,5
ПР2	Заточный станок	0,5	0,5	1,7	8	12,4	ВА51-25	2,5	17,5
ПР2	Вертикально-фрейзерный станок	13	0,5	42,9	215	322,0	ВА51-31	50	350
ПР2	Горизонтально-фрейзерный станок	9,6	0,5	31,7	159	237,8	ВА22-27	40	240
ПР3	Дисковая пила	23,5	0,5	77,6	388	582,1	ВА 21-29-34	100	600
ПР3	Токарно-винторезный станок	4,2	0,5	13,9	69	104,0	ВА51Г-25	25	175
ПР3	Токарно-винторезный станок	13	0,5	42,9	215	322,0	ВА21-29-32	63	378
ПР3	Токарно-винторезный станок	13	0,5	42,9	215	322,0	ВА21-29-32	63	378

Продолжение таблицы 2.11.1

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном, А}$	$I_{кр, А}$	$I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР3	Вертикально-сверлильный станок	2,5	0,5	8,3	41	61,9	ВА51-31	10	80
ПР3	Вертикально-сверлильный станок	2,5	0,5	8,3	41	61,9	ВА51-31	10	90
ПР3	Радиально сверлильный станок	7,5	0,5	24,8	124	185,8	ВА51-31	31,5	252
ПР3	Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	11,1	55	83,1	ВА51Г-25	16	112
ПР4	Реверсивный станок на столе	1,1	0,5	3,6	18	27,2	ВА51-25	5	35
ПР4	Лобзиковая пила	1,5	0,5	5,0	25	37,2	ВА51-31	6	48
ПР4	Галтовочный барабан	1,5	0,5	5,0	25	37,2	ВА51-31	6	48
ПР4	Радиально сверлильный станок	2,5	0,5	8,3	41	61,9	ВА51Г-25	10	70
ПР4	Настольно сверлильный станок	0,4	0,5	1,3	7	9,9	ВА51-31	1,6	4,8
ПР4	Элеваторный стелаж	2,2	0,5	7,3	36	54,5	ВА51-31	10	60

Продолжение таблицы 2.11.1

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном, А}$	$I_{кр, А}$	$I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР4	Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,5	18,8	94	141,0	ВА51-31	25	150
ПР4	Термостат	12	0,6	30,4	152	227,9	ВА51-31	31,5	252
ПР5	Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	12,0	60	90,3	ВА51Г-25	16	112
ПР5	Установка для приготовления компаунда	1,6	0,8	3,3	17	24,8	ВА51-25	4	28
ПР5	Центробежный станок	9	0,85	17,5	87	131,1	ВА51Г-25	25	175
ПР5	Литьевая машина	17	0,6	46,8	234	350,9	ВА51-31	63	378
ПР5	Компрессор	24	0,85	46,6	233	349,7	ВА51-31	63	378
ПР5	Вакуумный насос	3	0,8	6,2	31	46,4	ВА51-31	8	48
ПР5	Электродпечь	24	0,95	41,7	42	62,6	ВА51-31	50	100
ПР5	Установка для плавления капрона	35	0,85	68,0	340	510,0	ВА 21-29-34	100	600

Продолжение таблицы 2.11.1

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном, А}$	$I_{кр, А}$	$I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР6	Кран-балка ПВ=40%	8,85	0,5	29,2	146	219,3	ВА51-31	40	280
ПР6	Ножницы гальютинные	5,6	0,5	18,5	92	138,7	ВА51Г-25	25	175
ПР6	Управление электрической тележкой	1	0,5	3,3	17	24,8	ВА51-25	4	28
ПР6	Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	12,0	60	90,3	ВА51Г-25	16	96
ПР6	Электродпечь	50	0,95	86,9	86,9	130,4	ВА5135М3-125	125	250
ПР6	Электродпечь	50	0,95	86,9	86,9	130,4	ВА5135М3-125	125	250
ПР6	Электродпечь	43	0,95	74,8	74,8	112,1	ВА 21-29-34	100	200
ПР6	Индуктор	50	0,8	103,2	103,2	154,8	ВА5135М3-125	125	250
ПР6	Приточный вентилятор	15	0,85	29,1	146	218,6	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР7	Станок с нагревной плитой	2	0,5	6,6	33	49,5	ВА51-31	8	56

Продолжение таблицы 2.11.1

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном, А}$	$I_{кр, А}$	$I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР7	Пресс кривошипный	4,5	0,5	14,9	74	111,5	ВА51-31	16	112
ПР7	Кран-балка ПВ=40%	8,85	0,5	29,2	146	219,3	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР7	Пресс гидроавлический	8	0,5	26,4	132	198,2	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР7	Пресс гидроавлический	8	0,5	26,4	132	198,2	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР7	Пресс гидроавлический	8	0,5	26,4	132	198,2	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР7	Пресс гидроавлический	8	0,5	26,4	132	198,2	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР7	Точильно-шлифовальный	0,5	0,5	1,7	8	12,4	ВА51-31	2	12
ПР7	Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	12,0	60	90,3	ВА51-31	16	96
ПР8	Пресс гидроавлический	8	0,5	26,4	132	198,2	ВА51-31	31,5	220,5
ПР8	Пресс гидроавлический	8	0,5	26,4	132	198,2	ВА51-31	31,5	220,5

Продолжение таблицы 2.11.1

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном,А}$	$I_{кр,А}$	$I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР8	Пресс гидроавлический	15,5	0,5	51,2	256	384,0	ВА51-31	63	441
ПР8	Пресс гидроавлический	31,5	0,5	104,0	520	780,3	ВА5135М3-125	125	625
ПР8	Пресс гидроавлический	31,5	0,5	104,0	520	780,3	ВА5135М3-125	125	625
ПР8	Пресс гидроавлический	25,5	0,5	84,2	421	631,7	ВА 21-29-34	100	500
ПР8	Пресс гидроавлический	26	0,5	85,9	429	644,1	ВА5135М3-125	125	500
ПР8	Пресс гидроавлический	15	0,5	49,5	248	371,6	ВА51-31	63	378
ПР9	Пресс гидроавлический	15,5	0,5	51,2	256	384,0	ВА51-31	63	441
ПР9	Пресс гидроавлический	15	0,5	49,5	248	371,6	ВА51-31	63	378
ПР9	Пресс гидроавлический	15	0,5	49,5	248	371,6	ВА51-31	63	378
ПР9	Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,5	18,8	94	141,0	ВА51-31	25	150

Окончание таблицы 2.11.1

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном,А}$	$I_{кр,А}$	$I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.АВ}$	$I_{кз}$
ПР9	Пресс гидроавлический	35	0,5	115,6	578	867,0	ВА5135М3-160	160	960
ПР9	Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	12,0	60	90,3	ВА51Г-25	16	112
ПР9	Приточный вентилятор	15	0,85	29,1	146	218,6	ВА51-31	31,5	220,5

По данным табл. 2.11.1 примем тип распределительных пунктов.

Результаты сведены в таблицу 2.11.2.

Таблица 2.11.2 – Распределительные пункты цеха

№ пункта	Тип пункта	Число отходящих линий
ПР1	ПР8501	9
ПР2	ПР8501	7
ПР3	ПР8501	8
ПР4	ПР8501	8
ПР5	ПР8501	8
ПР6	ПР8501	9
ПР7	ПР8501	9
ПР8	ПР8501	8
ПР9	ПР8501	7

Выберем автоматические выключатели для защиты линий, питающих распределительные пункты цеха.

Условия выбора автоматических выключателей:

1)  $I_{\text{ном.расц.}} \geq I_{\text{длит}} ;$

2)  $I_{\text{кз}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{кр}} ,$

где  $I_{ном.расц.}$  - номинальный ток расцепителя автомата;  $I_{длит}$  - длительно протекающий в линии ток;  $I_{кз}$  - уставка по току срабатывания расцепителя в зоне КЗ;

$I_{кр}$  - максимальный кратковременный ток линии; 1,25 – учитывает разброс срабатываний автомата по току.

Результаты выбора автоматических выключателей для защиты распределительных пунктов приведены в табл. 7.5.

Пример выбора автоматического выключателя для защиты ПР-1:

$$I_{длит} = I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{\sqrt{P^2 + (Q)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = \frac{\sqrt{29,31^2 + 19,39^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 53,39 \text{ A},$$

Максимальный кратковременный ток линии  $I_{кр}$  равен пиковому току пункта  $I_{пик}$ , который определяем по формуле

$$I_{пик} = I_{п.м} + (I_M - K_u \cdot I_{ном.м}),$$

(2.11.4)

где  $I_{п.м}$ ,  $I_{ном.м}$ ,  $K_u$  - соответственно наибольший из пусковых токов двигателей в группе по паспортным данным, его номинальный ток и коэффициент использования;  $I_M$  - расчетный ток нагрузки всей группы электроприемников.

Получаем:

$$I_{пик} = I_{п.м} + (I_M - K_u \cdot I_{ном.м}) = 145,33 + (53,39 - 0,13 \cdot 29,06) = 194,94 \text{ A}.$$

Условия для выбора автоматического выключателя:

$$I_{\text{ном.расц.}} \geq I_{\text{длит}}$$

$$63 \geq 53,39 \text{ А} ;$$

$$I_{\text{эм.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 197,94 = 243,68 \text{ А}.$$

$$I_{\text{эм.р}} = \kappa \cdot I_{\text{ном.расц.}} = 315 \text{ А}$$

Принимаем автоматический выключатель типа ВА51-31 с номинальным током расцепителя  $I_{\text{ном.расц.}} = 63 \text{ А}$ .

Уставка по току срабатывания расцепителя в зоне КЗ  $I_{\text{эм.р}} = 315 \text{ А}$ .

Таблица 2.11.3 – Выбор выключателей на ПР

№ пункта	$I_{\text{дл}}$	$I_{\text{пик}}$	$1,25 \cdot I_{\text{пик}}$	Тип Автомата	$I_{\text{н.расц.}}$	$I_{\text{КЗ}}$
ПР1	53,39	194,94	243,68	ВА51-31	63	315
ПР2	34,79	189,21	236,51	ВА22-27	40	280
ПР3	55,33	264,44	330,55	ВА51-31	63	378
ПР4	11,13	102,69	128,36	ВА51Г-25	16	144
ПР5	159,78	448,78	560,98	ВА5135М3-160	250	750
ПР6	279,95	422,37	527,96	ВА-04-31	320	640
ПР7	40,63	183,06	228,82	ВА51-31	50	250
ПР8	108,75	615,44	769,30	ВА5135М3-125	125	875
ПР9	92,84	655,82	819,78	ВА5135М3-100	100	900

Аппараты защиты для силовых распределительных пунктов.

Выбор вводного автомата на подстанции ТП-12:

$$I_{\text{дл}} = I_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 958,321 \text{ A};$$

$$I_{\text{кр}} = I_{\text{пик}}^{н/см} = I_{\text{п.м}} + (I_{\text{ном.тр}} - K_{\text{и}} \cdot I_{\text{ном.м}}) = 723,78 + (958,321 - 0,48 \cdot 279,95) = 1574,725 \text{ A}$$

Условия для выбора автоматического выключателя:

$$I_{\text{н.расц}} \geq I_{\text{дл}} = 958,321 \text{ A};$$

$$I_{\text{кз}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{кр}} = 1,25 \cdot 958,321 = 1770,3 \text{ A}$$

Принимаем автоматический выключатель типа ВА52-39 с номинальным током расцепителя  $I_{\text{ном.расц.}} = 1000 \text{ A}$ ,  $I_{\text{ном}} = 1000 \text{ A}$ .

Уставка по току срабатывания расцепителя в зоне КЗ

$$I_{\text{кз}} = 2 \cdot I_{\text{ном.расц.}} = 2000 \text{ A}.$$

## 2.12 Выбор сечений линий питающей сети цеха.

Выбор сечений проводников питающей сети цеха будем производить из условий допустимой нагрузки и допустимой потери напряжения.

Выбор сечения проводника по условию допустимого нагрева при длительном протекании расчетного тока нагрузки  $I_M$  определяется из условия

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_M}{k_{\text{прокл}}}.$$

Кроме того, сечение проводника должно быть согласовано с аппаратом защиты этого проводника по условию

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{\text{прокл}}}, \quad (2.12.1)$$

где  $k_{\text{прокл}}$  - поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей;

$k_3$  - коэффициент защиты или кратность защиты;  $I_3$  - номинальный ток или ток уставки срабатывания защитного аппарата, А.

Проверка выбранного сечения проводника по допустимые потери напряжения выполняется из условия

$$\Delta U_{p\%} = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10 \cdot U_N^2} \leq \Delta U_{\text{доп}\%} = 5\%, \quad (2.12.2)$$

где  $\Delta U_{\text{доп}\%} = 5\%$  - допустимая потеря напряжения.

Результаты расчета сечений питающей сети цеха приведены в табл. 2.12.1.

Пример расчетов для линии РП12 – ПР1:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_M}{k_{\text{прокл}}} = \frac{53,39}{1} = 53,39 \text{ А},$$

где  $k_{\text{прокл}} = 1$  при способе прокладки кабеля каналам.

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 63}{1} = 63 \text{ A},$$

где  $I_3 = I_{\text{ном.расч}} = 63 \text{ A}$ ,  $k_3 = 1$

По таблице 1.3.7 [6] выбираем сечение кабеля, удовлетворяющее обоим условиям. Принимаем кабель марки АПВ 4(1х35):  $I_{\text{доп}} = 85 \text{ A}$ .

Проверяем выбранное сечение по условиям допустимой потери напряжения:

$$\Delta U_{\text{p\%}} = \frac{P \cdot l \cdot r_0 + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot 0,4^2} = \frac{25,57 \cdot 0,023 \cdot 0,117 + 93,432 \cdot 0,06 \cdot 0,117}{10 \cdot 0,4^2} = 0,49\%,$$

Таким образом, условие допустимой потери напряжения выполняется. Окончательно принятое сечение и марка кабеля – АПВ 4(1х35).[1.П 11.2]

Таблица 2.12.1 – выбор сечений линий питающих сети цеха

Наименование	№ линии	$I_M$	$K_{\text{пр}}$	$I_3$	$K_3$	Марка кабеля	$I_{\text{доп}}$	$I_{\text{доп}} \cdot K_{\text{пр}}$	L
ТП12-ПР1	Л1	53,39	1	1	0,85	АПВ 4(1х35)	85	74,118	0,046
ТП12-ПР2	Л2	34,79	1	1	0,85	АПВ 4(1х16)	55	47,059	0,035
ТП12-ПР3	Л3	55,33	1	1	0,85	АПВ 4(1х35)	85	74,118	0,021
ТП12-ПР4	Л4	11,13	1	1	0,85	АПВ 4(1х2,5)	19	18,824	0,01

Окончание таблицы 2.12.1

Наименование	№ линии	$I_M$	$K_{ПР}$	$I_3$	$K_3$	Марка кабеля	$I_{доп}$	$I_{доп} * K_{ПР}$	$L$
ТП12-ПР5	Л5	159,78	1	1	0,85	АПВ 4(1x120)	200	188,24	0,013
ТП12-ПР6	Л6	279,95	1	1	0,85	2хАПВ 4(1x120)	2x200	376,47	0,036
ТП12-ПР7	Л7	40,63	1	1	0,85	АПВ 4(1x25)	70	58,824	0,038
ТП12-ПР8	Л8	108,75	1	1	0,85	АПВ 4(1x95)	175	147,06	0,032
ТП12-ПР9	Л9	92,84	1	1	0,85	АПВ 4(1x50)	120	117,65	0,025

### 2.13 Выбор сечений распределительной сети цеха. Условия выбора сечений проводников для электроприемников:

$$1) I_{доп} \geq \frac{I_{ном}}{k_{прокл}}; \quad 2) I_{доп} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{прокл}}. \quad (2.13.1)$$

Для проводов, проложенных в кабель-канале,  $k_{прокл} = 1$ .

Результаты расчетов представлены в табл.9.5.

Пример расчетов для ответвления к станку специальной резки (ПР-1):

$$I_{доп} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{прокл}} = 30 \geq \frac{1 \cdot 25}{0,85 \cdot 1}; 30 \geq 29,41 A,$$

где  $I_3 = I_{ном.расц} = 25 A$ ,  $k_3 = 1$

По табл. выбираем провод марки АПВ – 4(1х6):  $I_{доп} = 30 A$ . [1. П 11.2]

Таблица 2.13.1 – Выбор сечений распределительной сети цеха.

Наименование ЭП	P,кВт	cosφ	Iном, А	Kп	Iп	Тип выключателя	Kз·Iз/ Kпрокл	Iдоп	Марка кабеля
Станок специальный для резки	5,5	0,5	18,2	0,85	21,37	BA51Г-25	29,41	30	АПВ 4(1x6)
Дисковая пила	5,5	0,5	18,2	0,85	21,37	BA51Г-25	29,41	30	АПВ 4(1x6)
Дисковая пила	5,5	0,5	18,2	0,85	21,37	BA51Г-25	29,41	30	АПВ 4(1x6)
Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,5	18,8	0,85	22,11	BA51Г-25	29,41	30	АПВ 4(1x6)
Дисковая пила с водяным охлаждением	4	0,5	13,2	0,85	15,54	BA51Г-25	18,82	19	АПВ 4(1x2,5)
Вертикально-фрейзерный станок	8,8	0,5	29,1	0,85	34,19	BA51-31	47,05	55	АПВ 4(1x16)
Вертикально-сверлильный станок	3,5	0,5	11,6	0,85	13,60	BA51Г-25	18,82	19	АПВ 4(1x2,5)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	12,0	0,85	14,17	BA51-31	18,82	19	АПВ 4(1x2,5)
Приточный вентилятор	15	0,85	29,1	0,85	34,28	BA51-31	47,05	55	АПВ 4(1x16)
Горизонтально-фрейзерный станок	9,1	0,5	30,1	0,85	35,36	BA51-31	47,05	55	АПВ 4(1x16)

Продолжение таблицы 2.13.1

Наименование ЭП	Р,кВт	cosφ	Ином, А	Кп	Ип	Тип выключателя	Кз·Iз/ Кпрокл	Идоп	Марка кабеля
Вертикально-сверлильный станок	4,6	0,5	15,2	0,85	17,87	ВА51Г-25	23,52	27	АПВ 4(1х5)
Вертикально-сверлильный станок	4,6	0,5	15,2	0,85	17,87	ВА51Г-25	23,52	27	АПВ 4(1х5)
Станок с абразивным кругом	0,5	0,5	1,7	0,85	1,942	ВА51-25	2,941	15	АПВ 4(1х2)
Заточный станок	0,5	0,5	1,7	0,85	1,942	ВА51-25	2,941	15	АПВ 4(1х2)
Вертикально-фрейзерный станок	13	0,5	42,9	0,85	50,51	ВА51-31	58,82	70	АПВ 4(1х25)
Горизонтально-фрейзерный станок	9,6	0,5	31,7	0,85	37,30	ВА22-27	47,05	55	АПВ 4(1х16)
Дисковая пила	23,5	0,5	77,6	0,85	91,31	ВА 21-29-34	117,6	120	АПВ 4(1х70)
Токарно-винторезный станок	4,2	0,5	13,9	0,85	16,32	ВА51Г-25	23,52	27	АПВ 4(1х5)
Токарно-винторезный станок	13	0,5	42,9	0,85	50,51	ВА21-29-32	74,11	85	АПВ 4(1х35)
Токарно-винторезный станок	13	0,5	42,9	0,85	50,515	ВА21-29-32	74,11	85	АПВ 4(1х35)
Вертикально-сверлильный станок	2,5	0,5	8,3	0,85	9,714	ВА51-31	11,76	15	АПВ 4(1х2)

Продолжение таблицы 2.13.1

Наименование ЭП	Р,кВт	cosφ	Ином, А	Кп	Ip	Тип выключателя	Кз·Iз/ Кпрокл	Idоп	Марка кабеля
Вертикально-сверлильный станок	2,5	0,5	8,3	0,85	9,714	ВА51-31	11,76	15	АПВ 4(1х2)
Радиально сверлильный станок	7,5	0,5	24,8	0,85	29,14	ВА51-31	37,05	39	АПВ 4(1х10)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	11,1	0,85	13,03	ВА51Г-25	18,82	19	АПВ 4(1х2,5)
Реверсивный станок на столе	1,1	0,5	3,6	0,85	4,274	ВА51-25	5,882	15	АПВ 4(1х2)
Лобзиковая пила	1,5	0,5	5,0	0,85	5,828	ВА51-31	7,058	15	АПВ 4(1х2)
Галтовочный барабан	1,5	0,5	5,0	0,85	5,828	ВА51-31	7,058	15	АПВ 4(1х2)
Радиально сверлильный станок	2,5	0,5	8,3	0,85	9,714	ВА51Г-25	11,76	15	АПВ 4(1х2)
Настольно сверлильный станок	0,4	0,5	1,3	0,85	1,55	ВА51-31	1,882	15	АПВ 4(1х2)
Элеваторный стелаж	2,2	0,5	7,3	0,85	8,548	ВА51-31	11,76	15	АПВ 4(1х2)
Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,5	18,8	0,85	22,11	ВА51-31	29,41	30	АПВ 4(1х6)
Термостат	12	0,6	30,4	0,85	35,74	ВА51-31	37,05	39	АПВ 4(1х10)

Продолжение таблицы 2.13.1

Наименование ЭП	P,кВт	cosφ	Iном, А	Kп	Iп	Тип выключателя	Kз·Iз/ Kпрокл	Iдоп	Марка кабеля
Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	12,0	0,85	14,17	BA51Г-25	18,82	19	АПВ 4(1x2,5)
Установка для приготовления компаунда	1,6	0,8	3,3	0,85	3,885	BA51-25	4,705	15	АПВ 4(1x2)
Центробежный станок	9	0,85	17,5	0,85	20,57	BA51Г-25	29,41	30	АПВ 4(1x6)
Литьевая машина	17	0,6	46,8	0,85	55,04	BA51-31	74,11	85	АПВ 4(1x35)
Компрессор	24	0,85	46,6	0,85	54,8	BA51-31	74,11	85	АПВ 4(1x35)
Вакуумный насос	3	0,8	6,2	0,85	7,28	BA51-31	9,411	15	АПВ 4(1x2)
Электропечь	24	0,95	41,7	0,85	49,08	BA51-31	58,82	70	АПВ 4(1x25)
Установка для плавления капрона	35	0,85	68,0	0,85	80	BA 21-29-34	117,6	120	АПВ (1x50)
Кран-балка ПВ=40%	8,85	0,5	29,2	0,85	34,43	BA51-31	47,05	55	АПВ 4(1x16)

Продолжение 2.13.1

Наименование ЭП	P,кВт	cosφ	Iном, А	Kп	Iп	Тип выключателя	Kз·Iз/ Kпрокл	Iдоп	Марка кабеля
Ножницы гальотинные	5,6	0,5	18,5	0,85	21,71	BA51Г-25	29,41	37	АПВ 4(1x8)
Управление электрической тележкой	1	0,5	3,3	0,85	3,88	BA51-25	4,705	15	АПВ 4(1x2)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	12,0	0,85	14,17	BA51Г-25	18,82	19	АПВ 4(1x2,5)
Электропечь	50	0,95	86,9	0,85	102,2	BA5135M3-125	147	175	АПВ 4(1x95)
Электропечь	50	0,95	86,9	0,85	102,2	BA5135M3-125	147	175	АПВ 4(1x95)
Электропечь	43	0,95	74,8	0,85	87,94	BA 21-29-34	117,64	120	АПВ 4(1x50)
Индуктор	50	0,8	103,2	0,85	121,4	BA5135M3-125	147,01	175	АПВ 4(1x95)
Приточный вентилятор	15	0,85	29,1	0,85	34,28	BA51Г-25	37,058	39	АПВ 4(1x10)
Станок с нагревной плитой	2	0,5	6,6	0,85	7,77	BA51-31	9,411	15	АПВ 4(1x2)
Пресс кривошипный	4,5	0,5	14,9	0,85	17,48	BA51-31	18,82	19	АПВ 4(1x2,5)
Кран-балка ПВ=40%	8,85	0,5	29,2	0,85	34,43	BA51Г-25	37,058	39	АПВ 4(1x10)

Продолжение таблицы 2.13.1

Наименование ЭП	Р,кВт	cosφ	Ином, А	Кп	Ип	Тип выключателя	Кз·Iз/ Кпрокл	Идоп	Марка кабеля
Пресс гидравлический	8	0,5	26,4	0,85	31	ВА51Г-25	37,058	39	АПВ 4(1х10)
Пресс гидравлический	8	0,5	26,4	0,85	31,08	ВА51Г-25	37,058	39	АПВ 4(1х10)
Пресс гидравлический	8	0,5	26,4	0,85	31,086	ВА51Г-25	37,058	39	АПВ 4(1х10)
Пресс гидравлический	8	0,5	26,4	0,85	31,086	ВА51Г-25	37,058	39	АПВ 4(1х10)
Точильно-шлифовальный	0,5	0,5	1,7	0,85	1,94	ВА51-31	2,35	15	АПВ 4(1х2)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	12,0	0,85	14,17	ВА51-31	18,82	19	АПВ 4(1х10)
Пресс гидравлический	8	0,5	26,4	0,85	31,08	ВА51-31	37,05	39	АПВ 4(1х16)
Пресс гидравлический	8	0,5	26,4	0,85	31,08	ВА51-31	37,058	39	АПВ 4(1х16)
Пресс гидравлический	15,5	0,5	51,2	0,85	60,22	ВА51-31	74,117	85	АПВ 4(1х35)
Пресс гидравлический	31,5	0,5	104	0,85	122,4	ВА5135М3-125	147,05	175	АПВ 4(1х95)
Пресс гидравлический	31,5	0,5	104	0,85	122,4	ВА5135М3-125	147,05	175	АПВ 4(1х95)

Окончание таблицы 2.13.1

Наименование ЭП	P, кВт	cosφ	Iном, А	Кп	Iп	Тип выключателя	Кз·Iз/ Kпрокл	Iдоп	Марка кабеля
Пресс гидравлический	25,5	0,5	84,2	0,85	99,08	ВА 21-29-34	117,6	120	АПВ 4(1x50)
Пресс гидравлический	26	0,5	85,9	0,85	101	ВА5135М3-125	147,0	175	АПВ 4(1x95)
Пресс гидравлический	15	0,5	49,5	0,85	58,28	ВА51-31	74,117	85	АПВ 4(1x35)
Пресс гидравлический	15,5	0,5	51,2	0,85	60,22	ВА51-31	74,117	85	АПВ 4(1x35)
Пресс гидравлический	15	0,5	49,5	0,85	58,28	ВА51-31	74,117	85	АПВ 4(1x35)
Пресс гидравлический	15	0,5	49,5	0,85	58,28	ВА51-31	74,117	85	АПВ 4(1x35)
Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,5	18,8	0,85	22,11	ВА51Г-25	29,41	30	АПВ 4(1x6)
Пресс гидравлический	35	0,5	115,6	0,85	136	ВА5135М3-160	188,23	200	АПВ 4(1x120)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,85	12,0	0,85	14,17	ВА51Г-25	18,823	19	АПВ 4(1x2,5)
Приточный вентилятор	15	0,85	29,1	0,85	34,28	ВА51-31	37,058	39	АПВ 4(1x10)

## 2.14 Расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонений напряжения.

Выполняем для цепочки линий от шин ГПП до зажимов наиболее мощного электроприемника (Электропечь).

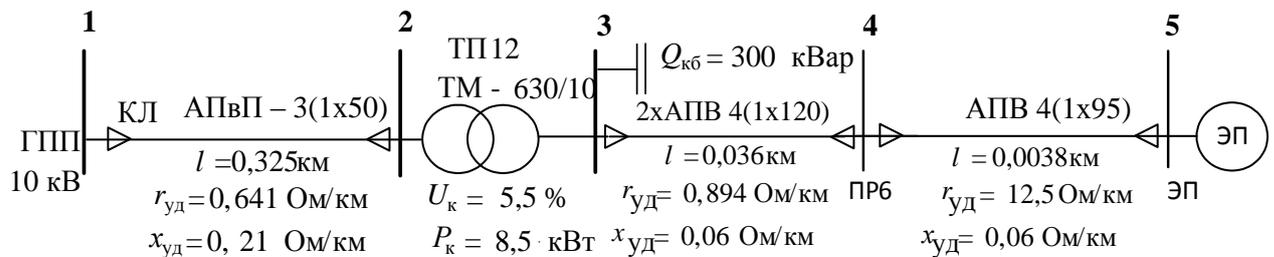


Рисунок 2.14.1 – Участок сети для расчета потерь напряжения и построения эпюры отклонений напряжения.

Расчет потерь напряжений в различных элементах выбранной цепочки производим по нижеприведенным формулам.

Для трансформатора:

$$\Delta U_T \% = \beta_T (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_T^2}{200} (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2),$$

где  $\beta_T = \frac{S_{\text{фактич}}}{S_{\text{н.тр.}}}$  – фактический коэффициент загрузки цехового

трансформатора;

$S_{\text{фактич}}$  – фактическая нагрузка одного трансформатора, [кВА];

$S_{\text{н.тр.}}$  – номинальная мощность цехового трансформатора, [кВА];

$$U_a = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot 100\%}{S_{\text{н.тр.}}} - \text{активная составляющая напряжения короткого}$$

замыкания цехового трансформатора, %;

$\Delta P_{\text{кз}}$  – потери активной мощности при КЗ, [кВт];

$U_p = \sqrt{(U_k)^2 - (U_a)^2}$  – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора, %;

$U_k$  – напряжение короткого замыкания, %;

$\cos\varphi_2$  и  $\sin\varphi_2$  – коэффициент мощности вторичной нагрузки трансформатора и соответствующий ему  $\sin\varphi_2$ .

Для линии:

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10 \cdot U_i^2},$$

где  $P$  и  $Q$  – соответственно величины активной и реактивной мощностей, передаваемых по расчетному участку в рассматриваемом режиме, [кВт] и [кВар];

$R$  и  $X$  – активное и индуктивное сопротивления данного участка сети, [Ом];

$U_i$  – напряжение на данном участке сети (в начале участка), [кВ].

### Расчет для максимального режима нагрузок:

Участок ГПП – ТП12 (АПвП 3(1x50)):

$$\Delta U_{\text{ГПП-ТП}}\% = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_H^2} = \frac{323,09 \cdot 0,641 \cdot 0,325 + 322,71 \cdot 0,21 \cdot 0,325}{10 \cdot 10,5^2} = 0,082\%$$

где  $r_{012}$ ,  $x_{012}$  - погонное активное и реактивное сопротивления линии. [7, табл. 8.2.13, 8.2.15], значения P,Q,R,X взяты из предыдущих этапов расчета.

$$\Delta U_{\text{ГПП-ТП}} = 0,082 \cdot \frac{10500}{100} = 5,17 [\text{В}];$$

$$U_2 = 10500 - 5,16 = 10494 [\text{кВ}];$$

#### Участок ТП12:

$$\Delta U_{\text{T}} \% = \beta_{\text{T}} (U_{\text{a}} \cdot \cos \varphi_2 + U_{\text{p}} \sin \varphi_2) + \frac{\beta_{\text{T}}^2}{200} (U_{\text{a}} \cdot \sin \varphi_2 - U_{\text{p}} \cdot \cos \varphi_2),$$

$$U_{\text{a}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot 100\%}{S_{\text{н.тр.}}}$$

$$U_{\text{a}} = \frac{8,5 \cdot 100\%}{630} = 1,349 \%;$$

$$U_{\text{p}} = \sqrt{(U_{\text{к}})^2 - (U_{\text{a}})^2}$$

$$U_{\text{p}} = \sqrt{8,5^2 - 1,349^2} = 5,332 \%;$$

$$\beta_{\text{T}} = \frac{S_{\text{фактич}}}{S_{\text{н.тр.}}} = \frac{\sqrt{(P_{\text{п12}})^2 + (Q_{\text{п12}})^2}}{S_{\text{н.тр.}}}$$

$$\beta_{\text{T}} = \frac{\sqrt{323,1^2 + 322,7^2}}{630} = 0,72;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{323,08}{\sqrt{323,08^2 + 322,7^2}} = 0,695$$

$$\sin \varphi_2 = 0,692.$$

Тогда

$$\Delta U_T \% = 0,724 \cdot (1,34 \cdot 0,695 + 5,33 \cdot 0,0,692) + \frac{0,724^2}{200} (1,34 \cdot 0,692 - 5,33 \cdot 0,695) = 3,38\%;$$

$$\Delta U_T = 3,38 \cdot \frac{10,494}{100} = 0,369 \text{ [кВ]};$$

$$U_3' = 10,494 - 0,369 = 10,14 \text{ [кВ]};$$

Участок ТП12-РП1:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U^2},$$

$$\Delta U_{ТП12-РП1} = \frac{25,57 \cdot 0,117 \cdot 0,046 + 93,42 \cdot 0,06 \cdot 0,046}{10 \cdot 0,369^2} = 0,664\%$$

$$\Delta U_{ТП12-РП1} = 1,493 \cdot \frac{0,369}{100} = 0,00235 \text{ [кВ]};$$

$$U_4 = 0,369 - 0,0024 = 0,367 \text{ [кВ]};$$

Участок РП1-ЭП1 станок специальный для резки:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U^2},$$

$$\Delta U_{РП1-ЭП1} = \frac{0,715 \cdot 12,5 \cdot 0,0039 + 1,238 \cdot 0,06 \cdot 0,003}{10 \cdot 0,369^2} = 0,062\%$$

$$\Delta U_{РП1-ЭП1} = 0,62 \cdot \frac{0,369}{100} = 0,22 \text{ [кВ]};$$

$$U_5 = 0,369 - 0,22 = 0,347 \text{ [кВ]};$$

Отклонения напряжения:

$$\delta U_1 = 5\%;$$

$$\delta U_2 = \delta U_1 - \Delta U_{ГПП-ТП} \% = 5 - 0,082 = 4,918\%;$$

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_{ТП} \% = 4,918 - 3,37 = 1,548\%;$$

$$\delta U_4 = \delta U_3 - \Delta U_{ТП-РП} \% = 1,548 - 0,664 = 0,884\%;$$

$$\delta U_6 = \delta U_5 - \Delta U_{РП-ЭП} \% = 0,884 - 0,062 = 0,822\%;$$

Согласно [6], для силовых сетей отклонения напряжения от номинального должны составлять не более  $\pm 5\%$ . В данном случае условие выполняется.

### Расчет для минимального режима нагрузок:

Для определения потоков мощностей минимального режима необходимо воспользоваться характерным суточным графиком электрических. В нашем случае примем  $P_{\min} = 0,85 P_{\max}$  минимальная реактивная мощность  $Q_{\min} = 0,3 \cdot Q_{\max}$ . После этого расчет повторяется по принципу расчета максимального режима, но при уменьшенной передаваемой мощности.

Таблица 2.14.1 – Результаты расчета сети по потере

Обозначение участка	ГПП-ТП12	ТП12	ТП12-РП6	РП1-ЭП1
Марка кабеля (сечение, мм <sup>2</sup> )	АПВП 3(1x50)	ТМ – 630/10	2xАПВ 4(1x200)	АПВ 4(1x95)
Длина, км	0,325	-	0,036	0,0038
Активное, Ом/км	0,641	1,34	0,894	12,5
Реактивное, Ом/км	0,21	5,33	0,06	0,06
Потери % напряжения макс / мин режим	0,082 / 0,057	3,376 / 1,39	0,664 / 0,249	0,062 / 0,52

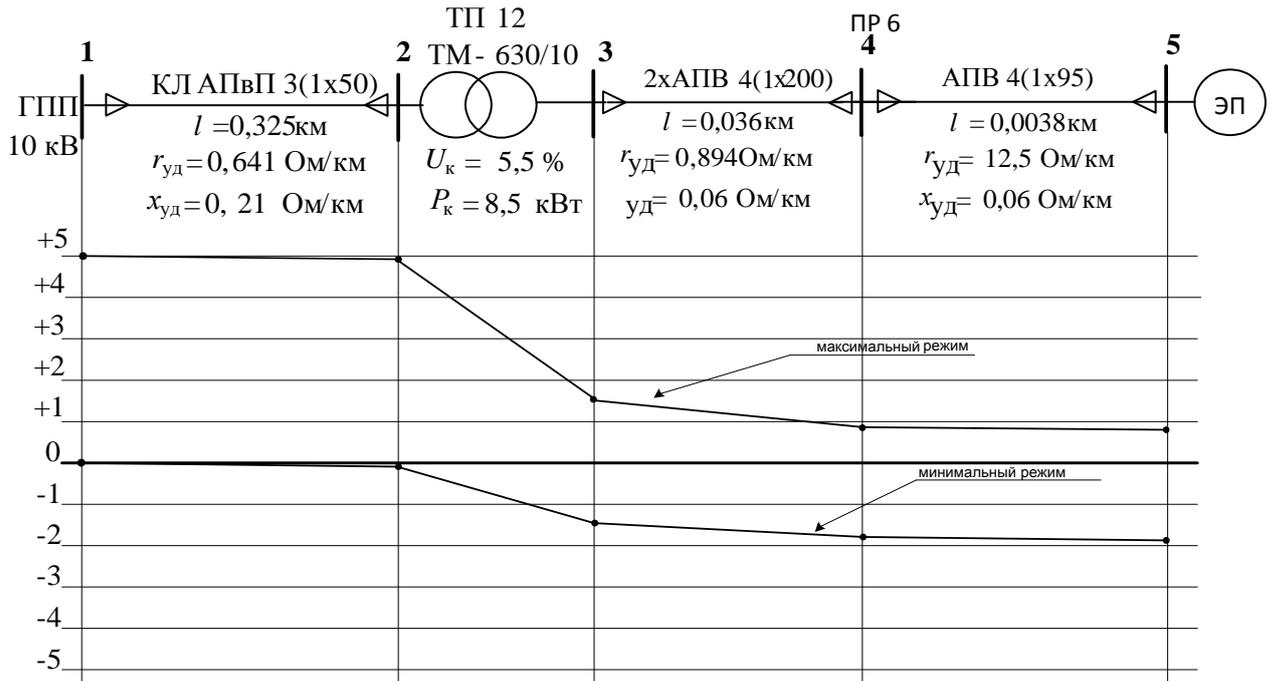


Рисунок 2.14.2 – Эпюры отклонений напряжения.

## 2.15 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Расчет токов КЗ проводим для участка цеховой сети от ТП-12 до наиболее мощного электроприемника цеха (шлифовальный станок). Полученные данные наносим на карту селективности действия аппаратов защиты.

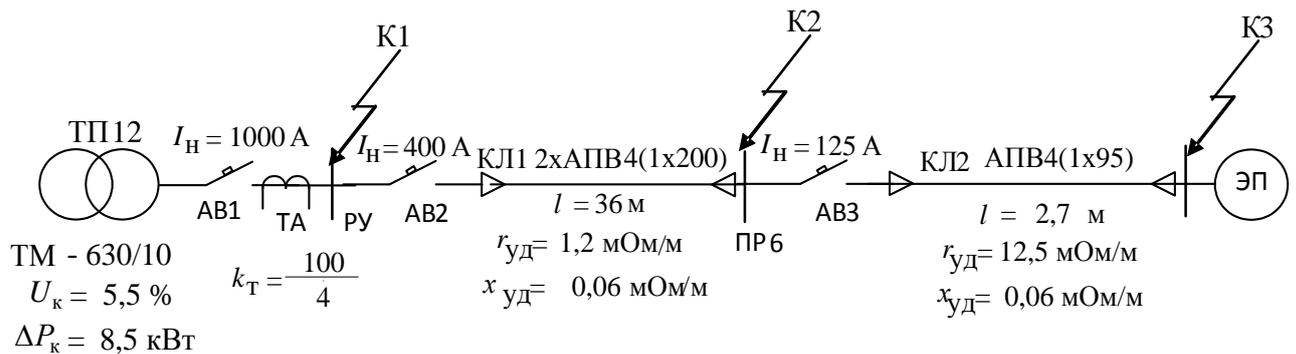


Рисунок 2.15.1 – Участок сети до 1000 В для расчета токов КЗ

Расчёт токов КЗ в сети до 1000 [В] имеет следующие особенности:

1) принимаем мощность системы  $S_c = \infty$ , что правомерно при  $S_c \geq 50S_{н.тр.}$ , т.е. напряжение на шинах подстанции считается неизменным при КЗ в сети до 1000 [В];

2) при расчёте учитываются активные и реактивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети: силового трансформатора, сопротивление токовой катушки автоматического выключателя и переходное сопротивление контактов, сопротивление первичной обмотки трансформаторов тока, сопротивление проводов и кабелей;

3) расчёт ведётся в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети. Принимаем  $U_c = 400$  [В]. [1]

Расчёт токов КЗ для точки К1:

1. Сопротивления автоматического выключателя АВ1:

$$R_{A1} = 0,15 \text{ мОм}; \quad X_{A1} = 0,17 \text{ мОм}; \quad R_{\text{Апер1}} = 0,4 \text{ мОм}$$

2. Сопротивления автоматического выключателя АВ2:

$$R_{A2} = 6,2 \text{ мОм}; \quad X_{A2} = 4,3 \text{ мОм}; \quad R_{\text{Апер2}} = 1,4 \text{ мОм} .$$

Сопротивления автоматического выключателя АВ3:

3.  $R_{A3} = 15 \text{ мОм}; \quad X_{A3} = 13 \text{ мОм}; \quad R_{\text{Апер3}} = 4,9 \text{ мОм}$

Для нахождения сопротивлений для АВ воспользовались методом линейной интерполяции.

4. Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТА

$$R_{\text{ТТ}} = 3,1 \text{ мОм}; \quad X_{\text{ТТ}} = 13,6 \text{ мОм};$$

5. Сопротивления кабельных линий

$$R_{\text{КЛ1}} = 8,9 \text{ мОм} \quad X_{\text{КЛ1}} = 0,6 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{КЛ2}} = 5,21 \text{ мОм} \quad X_{\text{КЛ2}} = 0,06 \text{ мОм}$$

6. Активные переходные сопротивления неподвижных контактных соединений:

$$R_{\text{кКЛ1}} = 0,043 \text{ мОм} \quad R_{\text{кКЛ2}} = 0,085 \text{ мОм}$$

Приводим сопротивления системы высшего напряжения к напряжению 0,38 кВ.

$$x_{\Sigma 10В} = x_{ВЛ} + x_{трГПП} + x_{кл} = 4,6 + 13,1 + 0,85 = 17,785 \text{ мОм.}$$

$$r_{\Sigma 10В} = r_{ВЛ} + r_{кл} = 4,4 + 1,2 = 6,2 \text{ мОм.}$$

$$x_{\Sigma 10Н} = x_{\Sigma 10В} \cdot \left( \frac{U_{НОМ.НН}}{U_{НОМ.ВН}} \right)^2 = 17,785 \cdot \left( \frac{0,38}{10} \right)^2 = 0,02 \text{ мОм;}$$

$$r_{\Sigma 10Н} = r_{\Sigma 10В} \cdot \left( \frac{U_{НОМ.НН}}{U_{НОМ.ВН}} \right)^2 = 6,2 \cdot \left( \frac{0,38}{10} \right)^2 = 0,015 \text{ мОм.}$$

Определяем сопротивление цехового трансформатора

$$r_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ.Т}^2} = \frac{5,5 \cdot 380^2}{630^2} = 2,01 \text{ мОм;}$$

$$x_T = \frac{U_p \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{8,3 \cdot 400^2}{100 \cdot 250} = 3,02 \text{ мОм;}$$

$$\text{где } U_p = \sqrt{U_{КЗ}^2 - U_a^2} = \sqrt{8,3^2 - 0,87^2} = 8,25 \text{ \%};$$

$$U_a = \frac{\Delta P_K \cdot 100}{S_{НОМ.Т}} = \frac{5,5 \cdot 100}{630} = 0,87 \text{ \%}.$$

Упростим схему замещения, определив эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ

$$R_1 = R_{10Н} + R_{тр} + R_{A1} + R_{ТТ} + R_{Апер1} = 0,15 + 2,01 + 0,15 + 11,3 + 3,1 = 17,3 \text{ мОм.}$$

$$X_1 = X_{10Н} + X_{тр} + X_{ТТ} + X_{A1} = 0,02 + 3,02 + 13,6 + 0,15 = 16,79 \text{ мОм}$$

$$R_2 = R_{A2} + R_{Апер2} + R_{кКЛ1} + R_{КЛ1} + R_1 = 6,2 + 1,4 + 0,04 + 8,9 + 0,043 = 7,62 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_{A2} + X_{КЛ1} + X_1 = 0,17 + 0,6 + 16,79 = 17,56 \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{A3} + R_{Апер3} + R_{кКЛ2} + R_{КЛ2} + R_2 = 5,5 + 1,3 + 0,08 + 3,9 + 47 = 57,78 \text{ мОм}$$

$$X_3 = X_{A3} + X_{KJL2} + X_2 = 15 + 0,06 + 17,56 = 32,62 \text{ мОм}$$

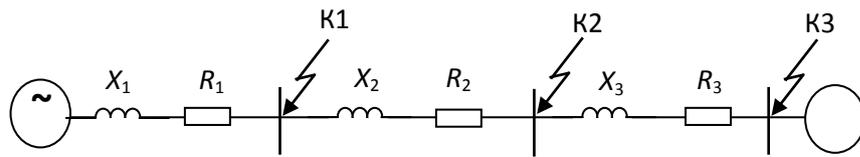


Рисунок 2.15.2 – Упрощенная схема замещения цеховой сети

Ток КЗ в точке К1 равен:

$$I_{K1} = \frac{U_{\text{нсети}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 1}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_1^2 + X_1^2}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 28,8} = 7,6 \text{ кА};$$

Ударный ток в точке К1:

$$i_{y1} = k_{y1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1} = 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,6 = 12,36 \text{ кА}.$$

Значение  $k_y$  определяем по кривой, для  $\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 1}} = \frac{16,79}{25,2} = 0,69$ ;

$$k_{y1} = 1.$$

Аналогично рассчитываем ток КЗ в других точках цеховой сети. При этом учитываем сопротивления шинпроводов, кабельных линий и переходные сопротивления контактов. Результаты расчетов сведены в таблицу.

Таблица 2.15.1 – Результаты расчета токов КЗ

Точка	$X_{\Sigma}$ , мОм	$R_{\Sigma}$ , мОм	$I_K$ , кА	$x_{\Sigma} / r_{\Sigma}$	$k_y$	$i_y$ , кА
К1	30,64	25,19	7,16	0,692	1,07	10,74
К2	47,34	41,73	4,64	0,535	1,05	4,64
К3	75,7	66,9	2,9	0,53	1	2,9

В электрических сетях ниже 1000 В кабели не подлежат проверке на термическую устойчивость.

## 2.16 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети.

Цепочка участка цеховой сети, для которой строится карта от вводного автомата на подстанции ТП-12 до самого мощного электроприемника ЭП30 (Электропечь).

Данные для построения карты селективности представлены в табл.

### 2.16.1.

Таблица 2.16.1 – Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

	ЭП	ПР6	ТП-12	I <sub>кз</sub> в соотв. точках, кА		
				1	2	3
I <sub>р</sub> , А	-	279,95	958,3	7,16	4,64	2,9
I <sub>пик</sub> , А	-	422,37	1770,8			
I <sub>ном</sub> , А	86,9	-				
I <sub>пуск</sub> , А	86,9	-				

Таблица 2.16.2 – Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты.

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
ВА52-39 (ТП12)	1000	2000
ВА-04-36 (ПР6)	320	640
ВА5135МЗ-125 (ЭП30)	125	250

Защитные характеристики автоматических выключателей, которые необходимо использовать для построения карты селективности действия аппаратов защиты, приведены в [3, с. 87].

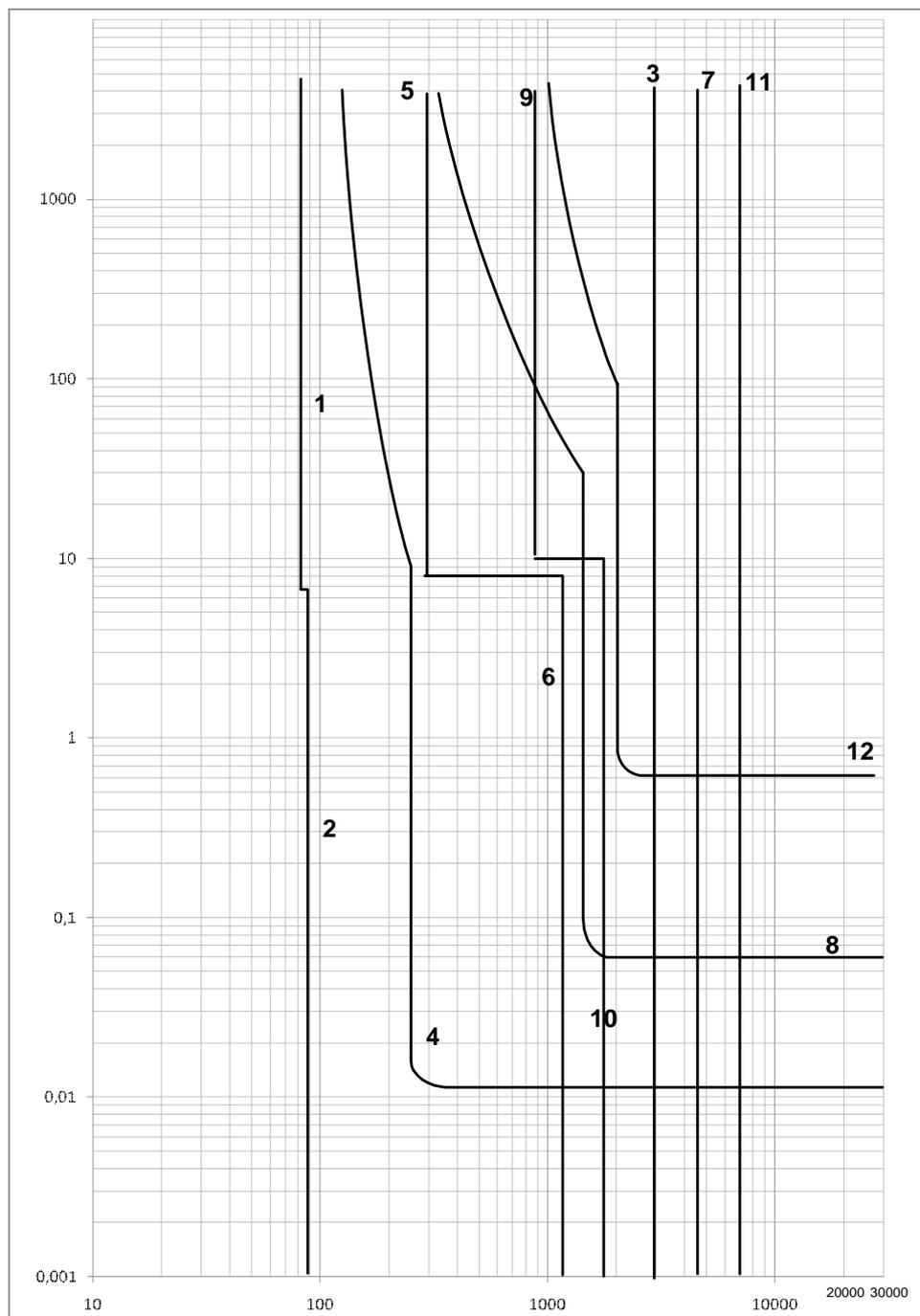


Рисунок 2.16.1 – Карта селективности действия аппаратов защиты

Обозначения на карте селективности:

- 1 – номинальный ток ЭП;
- 2 – пусковой ток ЭП;
- 3 – значение тока КЗ в точке К3;
- 4 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА5135М3-125,  
 $I_{КЗ} = 250\text{А}$ ;
- 5 – расчетный ток ПР-6;
- 6 – пиковый ток ПР-6;
- 7 – значение тока КЗ в точке К2;
- 8 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА13-31,  
 $I_{КЗ} = 640\text{ А}$ ;
- 9 – расчетный ток ТП-12;
- 10 – пиковый ток ТП-12;
- 11 – значение тока КЗ в точке К1;
- 12 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА52-39,  $I_{КЗ} = 2000\text{ А}$ .

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3ДЗ	Анваров Д. М.

Институт	Кафедра	Уровень образования	Направление/специальность
		Бакалавриат	Электроснабжение промышленных предприятий

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	В техническом проекте были задействованы 2 человека (руководитель, инженер). Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г.Томску. Зарботная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные страховые фонды (27,1% от заработной платы)

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Технико-экономическое обоснование проекта SWOT – анализ проекта
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Материальные затраты;</li> <li>• Полная заработная плата исполнителей;</li> <li>• Отчисления во внебюджетные фонды;</li> <li>• Накладные расходы;</li> </ul>
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Матрица SWOT
2. График проведения и бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3ДЗ	Анваров Д. М.		

### **3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

**Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:**

- Техничко-экономическое обоснование проекта
- Планирование технико-конструкторских работ
- Формирование бюджета проекта
- Определение эффективности проекта.

#### **3.1 Техничко-экономическое обоснование проекта**

Целью работы является оценка разработанной системы электроснабжения промышленного предприятия, а именно горно-металлургического комбината. В результате исследования была спроектирована конкретная модель предприятия, в которой каждый элемент подобран таким образом, чтобы энергозатратность была минимальной, а ресурсоэффективность максимальной. Таким образом, я получил экономически выгодное предприятие, которое по коммерческому потенциалу не уступает своим конкурентам, так же хочется отметить что применение современных устройств, материалов, аппаратов позволит сделать его более инновационным по сравнению с уже имеющимися предприятиям.

### **3.1.1 Инициализация и обоснование проекта. Потенциальные потребители**

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается электроснабжение горно-металлургического комбината с подробным рассмотрением цеха твердой изоляции.

Данный комбинат предполагает наличие нагрузки 2 категории по степени надежности электроснабжения. В состав комбината входят различные цеха, каждый из них выполняет отведенную ему роль. Основной упор в работе делается на разработку проекта с наибольшей производительностью и максимальной ресурсоэффективностью. Основными и потенциальными потребителями данного проекта будут являться организации, занимающиеся добычей и переработкой в сфере горно-металлургической промышленности.

### **3.1.2 SWOT-анализ цеха твердой изоляции горно-металлургического комбината**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [13].

Поскольку SWOT-анализ в общем виде не содержит экономических категорий, его можно применять к любым организациям, отдельным людям и странам для построения стратегий в самых различных областях деятельности.

Применительно к проектируемой АСР уровня, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 3.1.1.

Таблица 3.1.1 - Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b></p> <p>C1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологи.</p> <p>C2. Экологичность технологии.</p> <p>C3. Квалифицированный персонал.</p> <p>C4. Повышение безопасности производства</p> <p>C5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b></p> <p>Сл1. Трудность монтажа системы</p> <p>Сл2. Дороговизна оборудования</p> <p>Сл3. Высокая техническая ответственность электрооборудования</p> <p>Сл4. Сложность эксплуатации элеткроборудования</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>V1. Увеличение производительности электрооборудования</p> <p>V2. Появление дополнительной автоматизированной системы управления внутрицеховой структуры</p> <p>V3. Снижение тарифных ставок на электроэнергию</p> <p>V4. Появление более простых универсальных электрических и конструктивных систем и внутрив заводской и</p>	<p>V1C1C2C3C4;</p> <p>V2C1;C4;C5;</p> <p>V3C5;</p> <p>V4C1C2C5;</p>	<p>V1Сл3;Сл4;</p> <p>V2Сл1Сл2;Сл4</p> <p>V3Сл2;</p> <p>V4Сл1; Сл3;Сл2;Сл4</p>

внутрицеховой сети		
<p style="text-align: center;"><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Пробой изоляции и диэлектрических частей оборудования и проводов</p> <p>У2. Катастрофы природного и техногенного характера</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации энергоснабжения предприятий</p> <p>У4. Угрозы выхода из строя сложного энергоемкого оборудования</p>	<p>У1С3;</p> <p>У3С5;</p>	<p>У1Сл1Сл2;</p> <p>У3Сл1Сл2;</p> <p>У4Сл1. Сл3</p>

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

Составляя интерактивные матрицы используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Далее (в таблицах 3.1.2 и 3.1.3) приведен анализ данных, по которым можно сказать, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 3.1.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	+	+	-
	B2	+	-	-	+	+
	B3	-	-	-	-	+
	B4	+	+	+	+	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
	B1	-	-	+	-	
	B2	+	+	-	+	
	B3	-	+	-	-	
	B4	+	+	+	-	

Таблица 3.1.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	+	-	-
	У2	+	-	-	+	-
	У3	-	-	-	-	+
	У4	+	+	+	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
	У1	+	+	-	-	
	У2	-	-	+	+	
	У3	+	+	-	-	
	У4	-		-	+	

В процессе проектирования системы электроснабжения предприятия инженер нацелен на проектирование с возможно большим внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированной системы электроснабжения, что немало важно для потребителей.

В результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта, проведена оценка надежности и возможностей данного проекта. Было установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ (высокая энергоэффективность, повышенная безопасность производства), обеспечивающих повышение производительности, безопасности, экологичности и экономичности технического производства. Также в нашем проекте присутствуют и слабые стороны. Одним из таких является трудность монтажа системы, что является большим минусом при реализации проекта. Для того составляются интерактивные матрицы возможностей и угроз. Анализ интерактивных

матриц, приведенных в таблицах 26 и 27, показывает соответствие сильных сторон с возможностями, нежели с угрозами. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Вывод: я получил экономически выгодное предприятие, которое по коммерческому потенциалу не уступает своим конкурентам, так же хочется отметить, что применение современных устройств, материалов, аппаратов дает возможность сделать комбинат наиболее энергоэффективным и повысить безопасность производства, что позволит сделать его более инновационным по сравнению с уже имеющимися предприятиями.

### **3.2 Организация работ по техническому проекту**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования системы электроснабжения горно-металлургического комбината.

#### **3.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования**

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 3.2.1.1:

№ 1 – составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – Подбор и изучение технической документации – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия – расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм;

№ 4 – Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций;

№ 5 – Компенсация реактивной мощности на шинах - 0,4 кВ цеховых ТП и уточнение их нагрузки;

№ 6 – Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В;

№ 7 – Электроснабжение цеха твердой изоляции: выбор ПР, сечения линий;

№ 8 – Выбор сечений линий питающей сети цеха – проверка по допустимому току нагрева, выбор защиты, согласование тока проводника и защитного аппарата;

№ 9 – Проведение графических построений – построение плана всего комбината, в частности цеха твердой изоляции, картограммы электрических нагрузок;

№ 10 – Оценка эффективности полученных результатов – сравнение результатов с допустимыми отклонениями потерь по ПУЭ, построение карты селективности участка ГПП - ЭП;

№ 11 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

Таблица 3.2.1.1 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования комбината	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Расчеты и проектирование системы электроснабжения цеха №12 горно-металлургического комбината	3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Дипломник
	4	Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	Дипломник, научный руководитель
	5	Компенсация реактивной мощности	Дипломник, научный руководитель
	6	Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	
	7	Электроснабжение цеха твердой изоляции	Дипломник, научный руководитель
	8	Выбор сечений линий питающей сети цеха	Дипломник, научный руководитель
	9	Проведение графических построений	Дипломник
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник, научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	11	Составление пояснительной записки	Дипломник

### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (3.2.2.1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3.2.2.2)$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

В таблице 3.2.2.1 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 3.2.2.1 – Календарная продолжительность работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни						Длительность работ в рабочих днях	
		$t_{min}$ ,		$t_{max}$ ,		$t_{ож}$ ,			
		Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	2	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	4		2,8	-	3
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	-	16	-	19	-	17,8	-	18
4	Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	1	12	3	15	1,8	13,2	2	14
5	Компенсация реактивной мощности на	1	12	3	15	1,8	13,2	2	14

	шинах 0,4 кВ цеховых ТП и уточнение их нагрузки								
6	Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	1	9	2	12	1,4	10, 8	2	11
7	Электроснабже ние цеха твердой изоляция	1	11	2	14	1,4	12, 8	2	13
8	Выбор сечений линий питающей сети цеха	1	8	3	11	1,8	9,8	2	10
9	Проведение графических построений	-	1	-	2		1,4	-	2
10	Оценка эффективности полученных результатов	1	4	2	6	1,4	4,8	2	5
11	Составление пояснительной записки	-	5	-	12		7,8		8
Примечание: минимальное $t_{\min}$ и максимальное время $t_{\max}$ получены на основе экспертных оценок.									

### 3.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельному проекту, задаче или подзадаче. Проекты, задачи и подзадачи, составляющие план, размещаются по вертикали. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи. Диаграмма Ганта не является, строго говоря, графиком работ. И это один из основных её недостатков. Кроме того, диаграмма Ганта не отображает значимости или ресурсоемкости работ, не отображает сущности работ (области действия). Для крупных проектов диаграмма Ганта становится чрезмерно тяжеловесной и теряет всякую наглядность.

На основе таблицы 3.2.2.1 строим план-график. График строится для округленной средней длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 3.2.3.1– Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	$T_{pi}$ раб. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	-												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	3	-												
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Дипломник	18	—————												
4	Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	Руководитель	2													
		Дипломник	14				—————									
5	Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых ТП и уточнение их нагрузки	Руководитель	2							-						
		Дипломник	14					—————								
6	Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	Руководитель	2													
		Дипломник	11							—————						
7	Электроснабжение цеха твердой изоляции	Руководитель	2													
		Дипломник	13								—————					
8	Выбор сечений линий питающей сети цеха	Руководитель	2													
		Дипломник	10									—————				
9	Проведение графических построений	Дипломник	2													
10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2													
		Дипломник	5											—————		
11	Формирование отчета	Дипломник	8													—————

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 98 дней. Из них:

98 дня – продолжительность выполнения работ дипломника;

14 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

### 3.3 Составление сметы затрат на разработку ТП

Смета затрат – полный расчет затрат на создание технического проекта.

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- материальные затраты;
- полная заработная плата исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 3.3.1 Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} ,$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Канцелярский мир”.

Таблица 3.4.1.1 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ( $Z_m$ ), руб.
Бумага	1	300	300
Ручка	2	35	70
Папка	1	50	50
Калькулятор	1	455	455
Линейка	1	25	25
Итого			900

При расчете материальных затрат не учитывались транспортные расходы.

### 3.3.2 Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}},$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{\text{допл}}$  – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$  – районная доплата, руб.;

$F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.4.2.1.

Таблица 3.4.2.1 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$ , руб.	$Z_{\text{допл}}$ , руб.	$Z_{\text{р.к.}}$ , руб.	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Инженер	18400	2208	6182,4	26790,4	1030,4	98	100979,2
Итого $Z_{\text{осн}}$ , руб.							100979,2

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 3.4.2.2.

Зарплата руководителя:

$$Z_{\text{полн}} = 20 \cdot 300 = 6000 \text{ руб}$$

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 3.4.2.2.

Таблица 3.4.2.2 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{полн, руб.}}$
Руководитель	6000
Инженер	100979,2
Итого $Z_{\text{осн, руб.}}$	106979,2

### 3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 27,1 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 106979,2 = 28991,36 \text{ руб.}$$

### 3.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

$$Z_{\text{накл}} = (\text{затраты на тех.проект}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

### 3.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 3.4.5.1.

Таблица 3.4.5.1 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля, %
1. Материальные затраты ТП	900	0,567
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	106979,2	67,44
3. Отчисления во внебюджетные фонды	28991,36	18,28
4. Накладные расходы	21755,43	13,71
5. Итого	158625,99	100,00

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 98 рабочих. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 54,5 тыс.руб, из которых более половины (63,3 %) - оплата труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

### 3.4 Оценка организационной эффективности

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. **Экономичность:** оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. **Гибкость:** возможность частых перестроек технологии производства и развития предприятия.

3. **Безопасность:** обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;

4. **Обеспечение надлежащего качества электроэнергии:** качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97.

5. **Надежность:** бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

6. **Простота и удобство в эксплуатации:** возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии.

7. **Энергоэффективность:** использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Таблица 3.5.1 - Оценка организационной эффективности внедрения результатов разработки

Показатели организационной эффективности	Вес показателя $K_i$	Значение показателя до внедрения результатов разработки, балл $a_i$	Значение показателя до внедрения результатов разработки с учетом веса, $K_i \times a_i$	Значение показателя после внедрения результатов разработки, баллов $b_i$	Значение показателя после внедрения результатов разработки с учетом веса, $K_i \times b_i$
Экономичность	0,15	3	0,45	4	0,6
Гибкость	0,1	4	0,4	4	0,4
Безопасность	0,15	4	0,6	5	0,75
Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	4	0,72	5	0,9
Надежность	0,2	4	0,8	5	1
Простота и удобство в эксплуатации	0,07	3	0,21	5	0,35
Энергоэффективность	0,15	4	0,6	4	0,6
<b>ИТОГО</b>	<b>1,00</b>		<b>3,78</b>		<b>4,6</b>

Результаты анализа показали, что внедрение и эксплуатация новой системы электроснабжения позволит значительно повысить эффективность рабочего процесса (3,78 балла до внедрения и 4,6 после).

По выполнению поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение

производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальный бюджет затрат на реализацию технического проекта, а также дать рекомендации по оптимизации этих затрат.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

С учетом вышеизложенного, можно заключить, что реализация данного технического проекта позволяет увеличить эффективность производства, как социальную, путем улучшения безопасности, так и ресурсосберегающую, путем внедрения более универсального оборудования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассчитана сеть электроснабжения горно-металлургического комбината с детальной проработкой цеха твердой изоляции.

В результате расчета электрических нагрузок цеха твердой изоляции методом упорядоченных диаграмм были получены следующие результаты: расчетный ток составил  $I_p = 836,7$  А, полная расчетная мощность равна  $S_p = 550,63$  кВА. Также были определены полные расчетные мощности остальных цехов предприятия методом  $K_c$  и полная расчетная мощность комбината с учетом высоковольтной нагрузки и освещения территории.

По результатам расчета нагрузки по цехам комбината построена картограмма нагрузок, определен центр электрических нагрузок. Место установки ГПП было выбрано вблизи центра электрических нагрузок в зоне рассеяния.

Определено число и мощность цеховых силовых трансформаторов марки ТМ мощностью 630 - 1600 (каждых по 8 штук) и произведено их распределение по цехам комбината с учетом категории надежности. Питание цеховых трансформаторов осуществляется двухцепными кабельным линиям напряжением 10 кВ марки АПвП сечениями от 50 до 90 мм<sup>2</sup>.

Для рассматриваемой ТП был выбран трансформатор марки ТМ-630/10. Для питания трансформаторов от РУ-10 кВ были выбраны кабели марки АПвП 3х50. Эти сети были проверены на действие токов КЗ.

Электроснабжение комбината осуществляется от энергосистемы. Питание предприятия выполнено двухцепной воздушной линией напряжением 110 кВ. Линия выполнена проводом АС-70. На ГПП, с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей второй категории, резервно запитан от ТП10. Выбор трансформаторов осуществлялся с учетом компенсации реактивной мощности на предприятии путем установки КБ.

Питание к электроприемникам выполнено кабелями марок АПВ сечением от 2 до 95 мм<sup>2</sup>. В качестве защитной аппаратуры в сетях 0,4 кВ были приняты автоматические выключатели серии ВА.

Так как кроме нормального режима в сетях данного предприятия могут присутствовать и аномальные, в том числе КЗ, поэтому токи КЗ были просчитаны в нескольких точках как в сетях выше 1000 В, так и в низковольтных сетях.

По результатам расчетов были построены эпюры отклонений напряжения для максимального, минимального и послеаварийного режимов. Анализ эпюр показал, что во всех режимах отклонение напряжения не превышает максимально допустимого  $\pm 5\%$ .

По результатам расчета токов КЗ в сети 0,4 кВ построена карта селективности действия защитных аппаратов.

## Список литературы

1. Л.П. Сумарокова, Электроснабжение промышленных предприятий. Учеб. Пособие. - Томск: ТПУ, 2012. – 288 с.
2. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электро-снабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005. – 168 с
3. Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие раз-делы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2009. – 853 с.,
4. Справочник по проектированию электроснабжения /Под редакцией Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990 (Электроустановки промышленных предприятий / Под общ.ред. Ю.Н. Тищенко и др
5. Справочник по проектированию электрических сетей/Под ред. Д.Л. Файбисовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 352 с.: ил.
6. Барченко Т.Н., Закиров Р.И. Электроснабжение промышленных пред-приятий. – Томск: ТПУ, 1988. – 95с.
7. Мельников М. А. Внутризаводское электроснабжение: Учеб. пособие. – Томск:Изд. ТПУ, 2004. – 180 с.
8. А.В. Кабышев Электроснабжение объектов Ч.1 Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования. Учеб.пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2007. – 185 с.
9. Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 646 с.

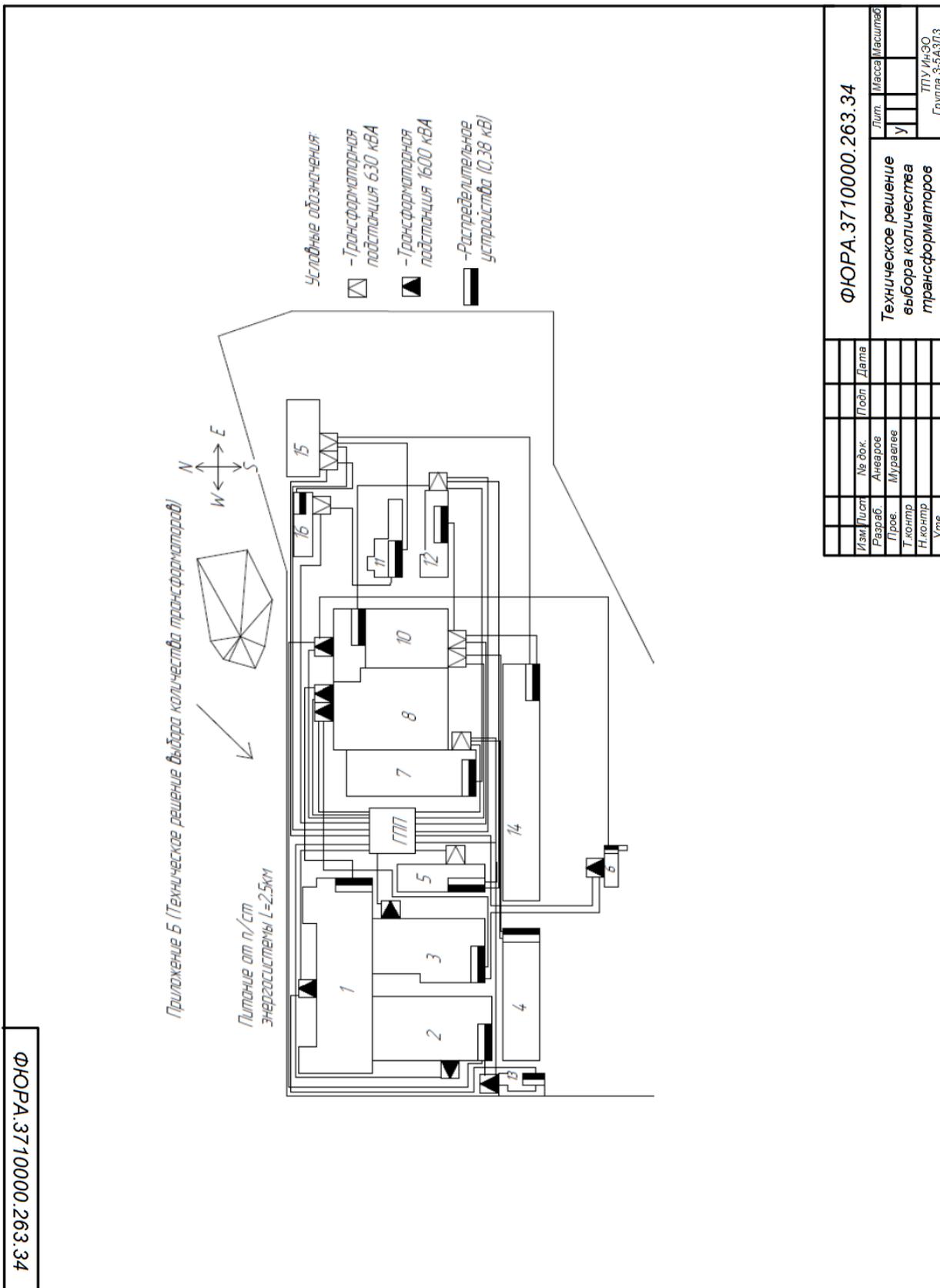
10. А.И. Гаврилин, С.Г. Обухов, А.И. Озга. Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению выпускной работы бакалавра. – Томск: ТПУ, 2001 – 93 с.
11. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. – Томск: ТПУ, 2014. – 37с.
12. Томпсон А.А., Стрикленд Дж.А. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа, 12-е издание: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006 – 928 с
13. Бородин Ю.В., Извеков В.Н., Ларионова Е.В., Плахов А.М. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность».- Томск: ТПУ, 2014. – 9 с.
14. Извеков В.Н, Гусельников М.Э., Крепша Н.В., Панин В.Ф. Методические указания по разработке раздела«Производственная и экологическая безопасность».- Томск: ТПУ, 2006. – 42 с
15. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
16. Федеральный закон РФ от 22.07.2008г. №123 ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
17. Р2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация ус-ловий труда.
18. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
19. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требование к естест-венному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественный зданий. – М.:Госкомсанэпиднадзор, 2003.

20. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Минздрав России, 1997.
21. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
22. СНиП 11-2-80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
23. СНиП II-90-81. Производственные здания промышленных предприятий.
24. СП 52.13330.2011 «Актуализированный СНиП» 23-05-95.
25. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы;
26. СанПиН РУз № 0324-16. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
27. ГОСТ 16372-93. Машины электрические вращающиеся. Допустимые уровни шума.
28. СанПиН РУз №0325-16. Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах.
29. КМК 2.01.05-98. Естественное и искусственное освещение.
30. СанПиН РУз №0335-16. Санитарные нормы электростатических полей на рабочих местах.
31. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
32. ГОСТ 12.1.019-79. Электробезопасность. Термины и номенклатура видов защиты.
33. СанПиН РУз № 0294-11. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
34. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
35. ГОСТ 12.1.033–81 ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.

36. ШНК 2.01.19-09. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
37. ШНК 2.01.02-04. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

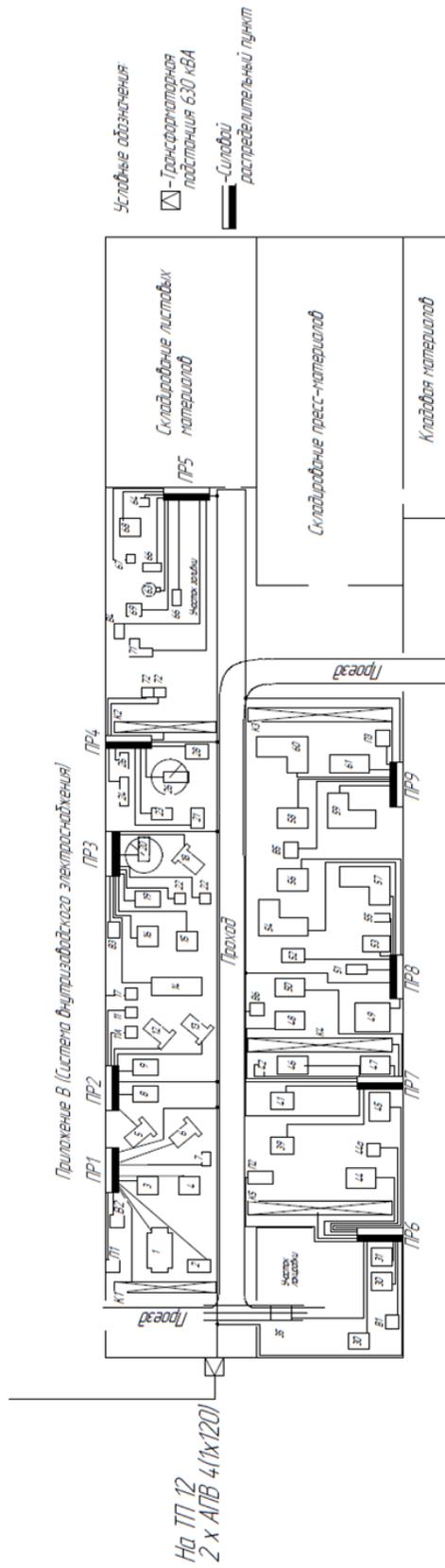


## Приложение Б (Техническое решение выбора количества трансформаторов)



# Приложение В (Система внутрицехового электроснабжения)

ФЮРА.3710000.261.34



ФЮРА.3710000.261.34		Лит.	Масштаб
Изм	Лист	Подп	Дата
Разраб	№ док.	Ангаров	
Проез	Мурашова		
Т. контр			
Утв.			
ТПУ ИнЭО Группа Э-5АЭДЗ			
Схема внутрицехового электроснабжения			

