

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

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

институт

«Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А. С. Торопов

подпись      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Реконструкция электроснабжения локомотивного депо  
топливно-транспортного цеха АО «Абаканская ТЭЦ»

тема

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

доц. каф. ЭМиАТ, к. т. н.

\_\_\_\_\_

должность, ученая степень

А. В. Коловский

инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Д. К. Коротков

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_

подпись, дата

И.А. Кычакова

инициалы, фамилия

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 53 страниц, 11 рисунков, 11 таблиц, 25 использованных источников.

МЕТОД КОЭФФИЦИЕНТА РАСЧЕТНОЙ МОЩНОСТИ, ЛОКОМОТИВНОЕ ДЕПО, ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ, КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ТОПЛИВНО-ТРАНСПОРТНОГО ЦЕХА, ЦЕХОВАЯ ОДНОЛИНЕЙНАЯ СХЕМА, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ, СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.

Объектом исследования является топливно-транспортный цех.

Цель работы – проектирование системы электроснабжения локомотивного депо.

В процессе исследования произведен расчет нагрузок цеха в соответствии с особенностями эксплуатации и свойствами технологического процесса. На основе исходных данных и полученных расчетных результатов произведен выбор электрооборудования, проведена его проверка в соответствии с нормами ГОСТ, ПУЭ при всех режимах работы.

В результате исследования спроектирована модель электроснабжения топливно-транспортного цеха, представлен всесторонний анализ потенциала и перспектив развития производства.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: распределительная сеть по предприятию составляет 10 кВ, а рабочее напряжение внутри цехов 0,4 кВ.

## **THE ABSTRACT**

The final qualifying work contains 53 pages, 11 figures, 11 tables, 25 sources.

THE METHOD OF THE CALCULATED POWER COEFFICIENT, LOCOMOTIVE DEPOT, SELECTION OF THE NUMBER AND POWER OF TRANSFORMERS, REACTIVE POWER COMPENSATION, POWER SUPPLY OF THE FUEL AND TRANSPORT SHOP, SHOP SINGLE-LINE SCHEME, RESOURCE EFFICIENCY, SOCIAL RESPONSIBILITY.

The object of the study is a fuel and transport workshop.

The purpose of the work is to design an electric power supply system for a locomotive depot.

In the course of the study, the loads of the workshop were calculated in accordance with the operating characteristics and properties of the technological process. Based on the initial data and the calculated results obtained, the choice of electrical equipment was made, its verification was carried out in accordance with GOST standards, PUE for all operating modes.

As a result of the research, a model of power supply for the fuel and transport workshop was designed, and a comprehensive analysis of the potential and prospects for the development of production was presented.

The main design, technological and technical and operational characteristics: the distribution network for the enterprise is 10 kV, and the operating voltage inside the workshops is 0.4 kV.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В выпускной работе использовались следующие сокращения:

ПУЭ – правила устройства электроустановок

ЭЭ – электрическая энергия

РУ – распределительное устройство

КРУ – комплектное распределительное устройство

ЛЭП – линия электропередач

ТН – трансформатор напряжения

Р – разъединитель

РП – распределительный пункт

ЭП – электроприемник

ИП – источник питания

ТП – трансформаторная подстанция

ЭУ – электроустановка

КЛ – кабельная линия

ШР – шкаф распределительный

ТЭО – технико-экономическое обоснование

НН – низкое напряжение

ЭЭС – электроэнергетическая система

СЭС – система электроснабжения

КЗ – короткое замыкание

КТП – комплектная трансформаторная подстанция

ЦЭН – центр электрических нагрузок

СР – сопротивление разрядное

ИРМ – источник реактивной мощности

ККУ – комплектная конденсаторная установка

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 Характеристика объекта. Описание локомотивного депо топливно-транспортного цеха.....	8
1.1 Существующая схема электроснабжения локомотивного депо топливно- транспортного цеха.....	
2 Причины реконструкции локомотивного депо топливно-транспортного цеха	
3 Формирование новой схемы электроснабжения локомотивного депо топливно-транспортного цеха. Выбор схемы и расчёт электрических нагрузок цеха.....	9
3.1 Выбор электроснабжения цеха. ....	9
3.2 Расчёт электрических нагрузок цеха. Разбиение электроприемников на группы .....	12
3.3 Выбор и проверка аппаратов защиты. ....	21
3.4 Выбор распределительных шкафов .....	28
3.5 Выбор сечений цеховых электрических сетей .....	29
3.6 Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения. Построение эпюры отклонения напряжения от РП до наиболее мощного и удаленного ЭП.....	32
3.7 Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В .....	39
3.8 Построение карты селективности действия аппаратов защиты .....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСПОЧНИКОВ.....	66

## ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является реконструкция системы электроснабжения локомотивного депо топливно-транспортного цеха.

Входными данными служат номинальные мощности электроприёмников локомотивного депо топливно-транспортного цеха, генплан цеха.

Цели выпускной квалификационной работы:

1. Определение расчётной нагрузки локомотивного депо топливно-транспортного цеха;
2. Произвести разработку сети до 1000 В, куда входит выбор токоведущих частей, распределение потребителей по пунктам питания, выбор распределительных пунктов. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В, выбор аппаратов защиты. Построения карты селективности действия защитных аппаратов, с помощью которой, в свою очередь, можно проверить правильность выбора защитных аппаратов и селективность их действия.

Объектом исследования является локомотивное депо цеха топливно-транспортного цеха, в него входящего, в частности.

Исходными данными на проектирование являются генплан локомотивного депо топливно-транспортного цеха (Рисунок 1) и сведения об его электрических нагрузках (Таблица 1).

## **1 Характеристика объекта. Описание локомотивного депо топливно-транспортного цеха**

Локомотивное депо топливно-транспортного цеха АО «Абаканская ТЭЦ» — занимается ремонтом и эксплуатацией тягового подвижного состава. В 2023 году депо разделилось на ремонт и эксплуатацию.

Ремонтное локомотивное депо создано для осмотра и ремонта тепловозов, электровозов железнодорожном ходу.

Все работы по ремонтнообслуживанию подразделяются на три основных вида:

1) оперативный ремонт, включающий в себя:

а) экстренный (аварийный) ремонт;

б) текущий ремонт;

в) межремонтное обслуживание; плановопрофилактическое обслуживание; капитальный ремонт.

Система ремонтнообслуживания оборудования, принятая на участке технического обслуживания локомотивов представлена на рисунке 1. Работы первого вида выполняются согласно заявкам производственного персонала, каждый случай привлечения ремонтного персонала для выполнения оперативного обслуживания оборудования регистрируется специальным нарядом. Программа работ осуществляется согласно составленным циклам, которые различаются: по времени исполнения; по перечню работ (рисунок 1).

Сведения об электрических нагрузках локомотивного депо топливно-транспортного цеха приведены в таблице 1.

План локомотивного депо топливно-транспортного цеха представлен на рисунке 2.

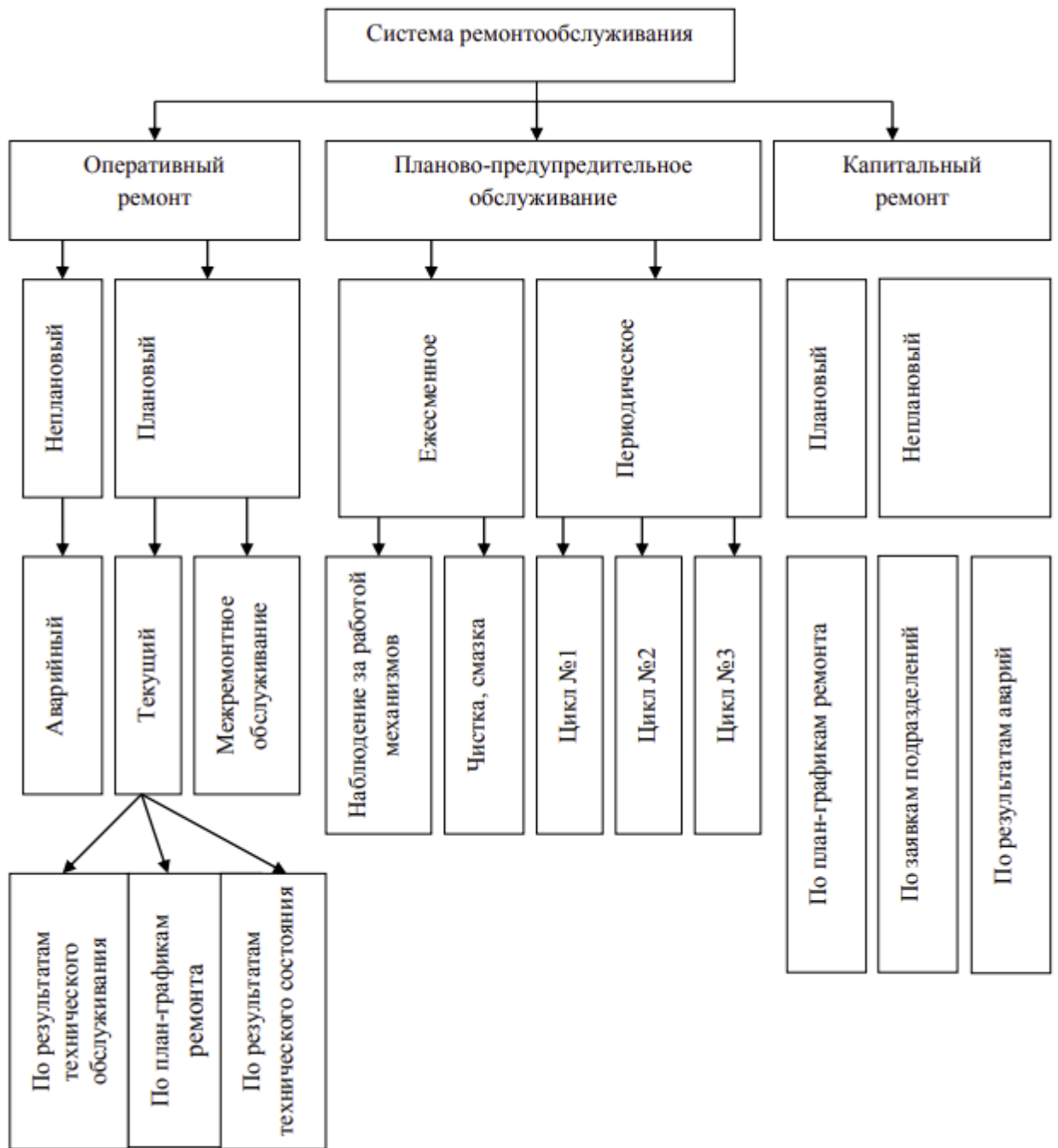


Рисунок 1 – Дифференциация работ по системе ремонтнообслуживания



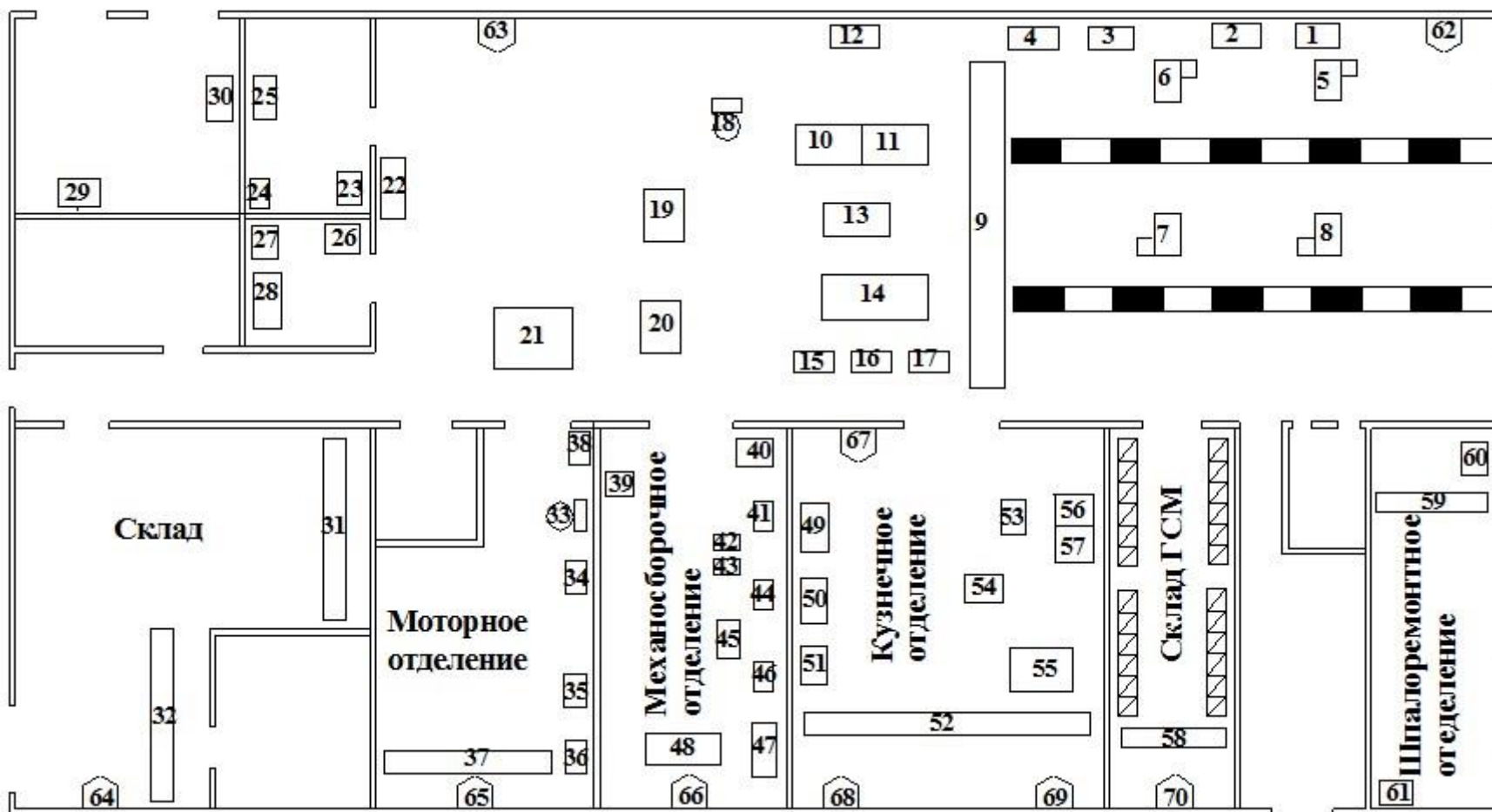


Рисунок 2 – План локомотивного депо топливно-транспортного цеха

Таблица 1 – Сведения об электрических нагрузках локомотивного депо топливно-транспортного цеха

Номер на плане	Наименование электроприемника	Установленная мощность ЭП, кВт
1	2	3
1	Сварочный трансформатор	20
2	Зарядное устройство	15
3	Сварочный трансформатор ПВ=40 %	20
4	Зарядное устройство	15
5-8	Домкрат	15
9	Кран–балка	30
10-11	Механический пресс	3,5
12	Сверлильный станок	2
13	Точильный станок	5,5
14	Выпрямитель	8
15-17	Сварочный трансформатор	20
18	Вертикально-сверлильный станок	5
19,20	Фрезерный станок	3
21	Пресс фрикционный	10
22-25	Испытательный стенд	5,5
26-27	Муфельная печь	15
28	Вулканизационный станок	3
29-30	Сварочный трансформатор	20
31	Кран–балка	10
32	Кран–балка	7,5
33	Вертикально-сверлильный станок	5
34	Сварочный трансформатор	20
35-36	Фрезеровочный станок	3
37	Кран–балка	10
38	Выпрямитель	20
39	Координатно–расточный станок	22
40	Трубогибочный станок	7,5
41	Рельсореальный станок	7,5
42,43	Фрезерный станок	15
44-46	Шлифовальный станок	7,5
47	Точильный станок	5,5
48	Токарный станок	15

Окончание таблицы 1

1	2	3
49,50	Гидравлический пресс	15
51	Сварочный трансформатор	20
52	Кран–балка	15
53	Сварочный трансформатор	10
54	Электромолот	20
55	Электропечь	30
56,57	Вентилятор горна	15
58,59	Кран–балка	10
60,61	Токарный станок	15
62,63	Вентилятор	20
64-70	Вентилятор	7,5

**1.1 Существующая схема электроснабжения локомотивного депо  
топливно-транспортного цеха**

На рисунке 3 приведен существующий план локомотивного депо топливно-транспортного цеха.

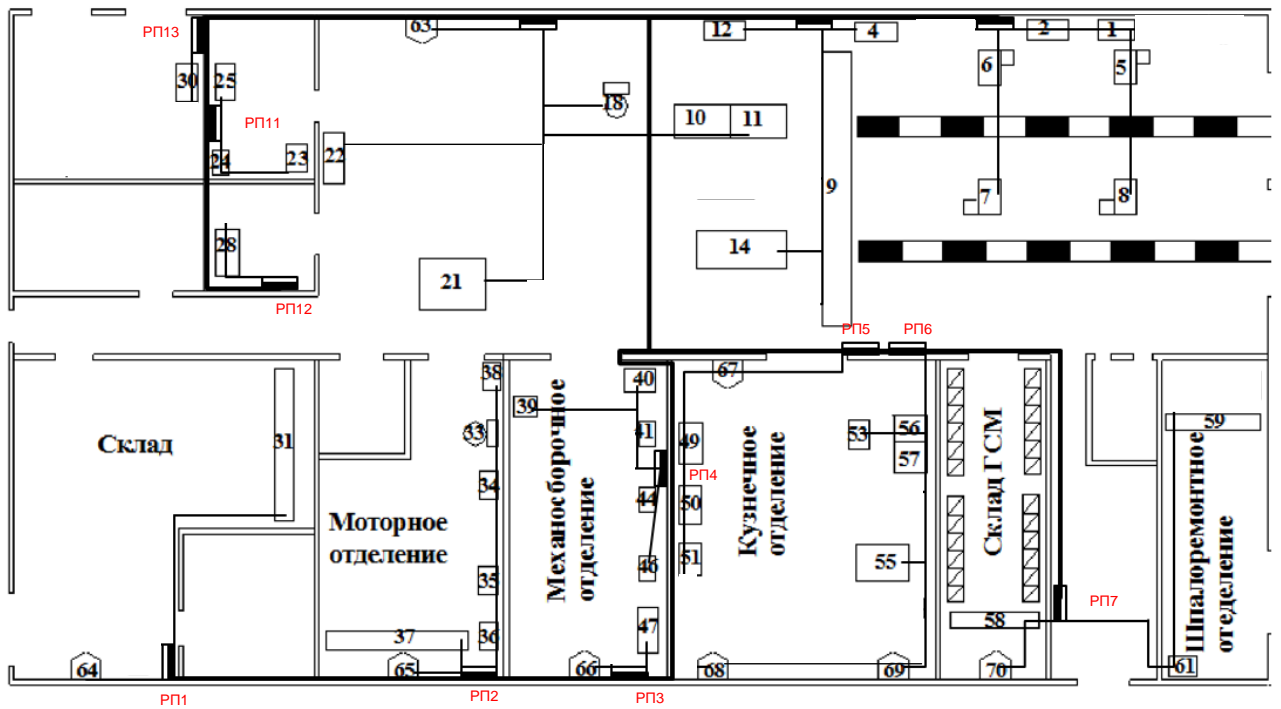


Рисунок 3 - Существующий план локомотивного депо топливно-транспортного цеха

## 2 Причины реконструкции локомотивного депо топливно-транспортного цеха

Реконструкция электроснабжения локомотивного депо топливно-транспортного цеха требуется в связи с пополнением механического парка, вновь приобретенное оборудование необходимо установить, запитать электроэнергией и обеспечить бесперебойную работу локомотивного депо топливно-транспортного цеха.

### **3 Формирование новой схемы электроснабжения локомотивного депо топливно-транспортного цеха. Выбор схемы и расчёт электрических нагрузок цеха**

#### **3.1 Выбор электроснабжения цеха**

Таблица 2 - Характеристика потребителей по категории надежности электроснабжения

<b>№ на ген. плане</b>	<b>Наименование потребителей</b>	<b>Категория ЭП по степени надежности</b>
1	Локомотивного депо топливно-транспортного цеха	II

Произведём анализ исходных данных. Цех предназначен для ремонта электровозов. Учтём, что основная часть электроприемников – краны и асинхронные двигатели, которые никак не влияют на окружающую среду. Принимаем, что условия окружающей среды нормальные (температура около 20°С, влажность не превышает 60%). Исключением является кузнечное отделение, в котором работают с раскалёнными металлами.

Следующим пунктом анализа является расположение электроприемников. Применение шинпровода было бы рационально при близком расположении большого числа электроприемников. Однако в локомотивном депо топливно-транспортного цеха картина иная. Большое количество ЭП равномерно расположены по цеху, большое количество комнат, в которых также есть потребители, что делает выбор шинпровода не логичным.

Цех отнесем ко второй группе по бесперебойности электроснабжения. Исходя из вышеперечисленных условий выбираем радиальную схему электроснабжения цеха.

### 3.2 Расчёт электрических нагрузок цеха. Разбиение электроприемников на группы

Расчет ЭП напряжением до 1 кВ будет осуществляться методом коэффициента расчетной мощности согласно форме Ф636-92 [8, стр. 8].

Пример расчета для РП-2:

Первые четыре столбца заполняются на основании исходных данных, столбцы пять и шесть содержат данные об электроприёмников, которые берутся из справочных материалов. Для удобства допускается объединение приёмников в группы с одинаковыми коэффициентами использования  $K_{и}$  и реактивной мощности  $\operatorname{tg}\varphi$  ( $\cos\varphi$ ).

Для каждой характерной группы электроприемников в графах 7 и 8 соответственно записываются величины  $K_{и}P_{н}$  и  $K_{и}P_{н}\operatorname{tg}\varphi$ . В итоговой строке определяются суммы этих величин.

$$\sum K_{и} \cdot P_{н} = 0,7 + 6 + 0,84 + 2 + 4 + 3 = 16,54 \text{ кВт.}$$

$$\sum K_{и} \cdot P_{н} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i = 1,21 + 13,74 + 1,45 + 3,46 + 4,68 + 3,06 = 27,6 \text{ кВар.} \quad (1)$$

Средневзвешенный коэффициент использования:

$$K_{и.ср} = \frac{\sum K_{и} \cdot P_{н}}{\sum P_{н}} = \frac{16,54}{78,5} = 0,21 \quad (2)$$

Для графы 9 найдем значение произведения  $n p_{н}^2$  и просуммируем для всех приемников:

$$\sum n \cdot p_{н}^2 = 1 \cdot 5^2 + 1 \cdot 20^2 + 2 \cdot 3^2 + 1 \cdot 10^2 + 1 \cdot 20^2 + 1 \cdot 7,5^2 = 999,25 \text{ кВт.} \quad (3)$$

Тогда эффективное число электроприемников равняется:

$$n_3 = \frac{(\sum P_{н})^2}{\sum n \cdot P_{н}^2} = \frac{78,5^2}{999,25} = 6. \quad (4)$$

Вычислим расчётный коэффициент нагрузки  $K_p$ .

Если  $y = K_p$ ,  $x = K_u$ , то  $K_p$  считается по формуле:

$$y = y_1 - \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1). \quad (5)$$

Для РП-2:  $y_1 = 1,62$ ;  $y_2 = 1,28$ ;  $x_1 = 0,2$ ;  $x_2 = 0,3$ ;  $x = 0,21$ .

$$y = 1,62 - \frac{1,62 - 1,28}{0,3 - 0,2} \cdot (0,21 - 0,2) = 1,6.$$

Вычислим расчетную активную мощность:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_u \cdot P_u = 1,6 \cdot 16,54 = 26,18 \text{ кВт}. \quad (6)$$

Вычислим расчетную реактивную мощность при  $n_{\Sigma} > 10$ :

$$Q_p = 1,1 \sum K_u \cdot P_u \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1,1 \cdot 27,6 = 30,36 \text{ кВар}. \quad (7)$$

Полная мощность равняется:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{26,18^2 + 30,36^2} = 40,09 \text{ кВА}. \quad (8)$$

Расчетный ток считается по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{40,09}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 60,92 \text{ А}. \quad (9)$$

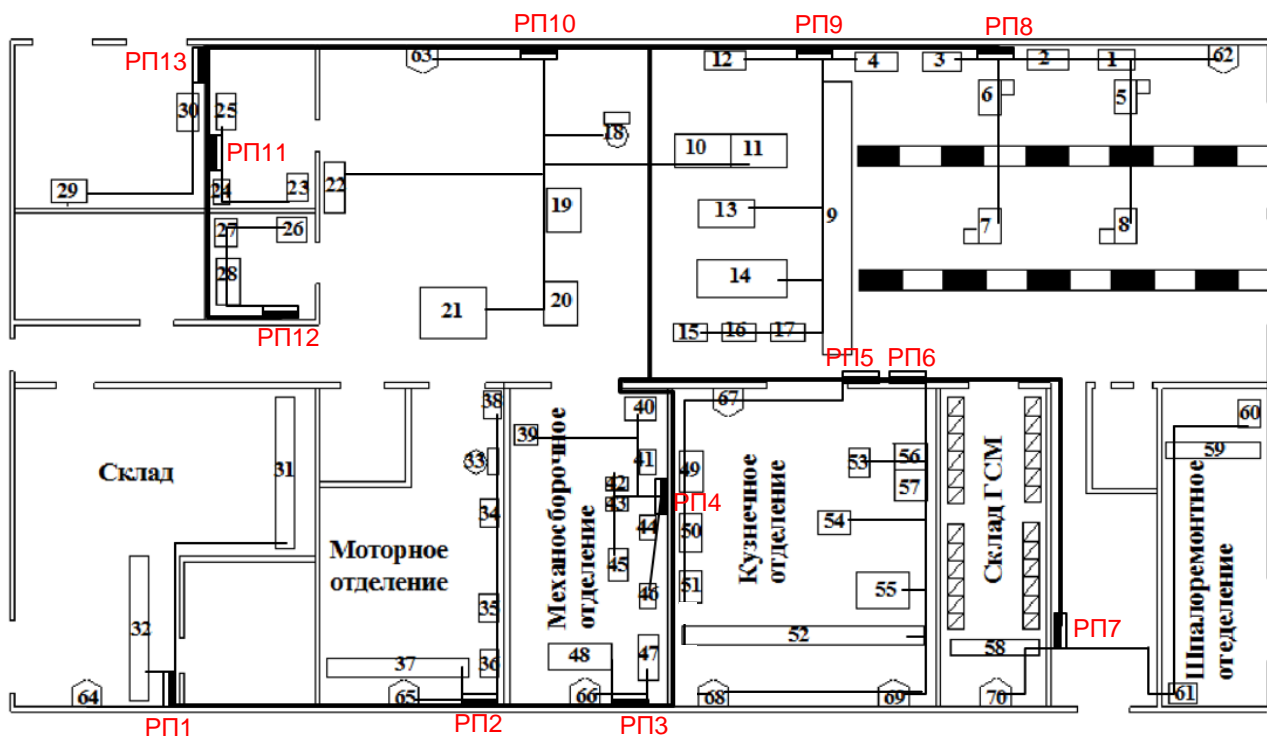


Рисунок 4– Присоединение ЭП к РП



Таблица 3– Расчёт цеховых нагрузок методом расчётного коэффициента

Исходные данные						Расчётные величины					Расчётная нагрузка			
По заданию технологов				По справочным данным		$k_{иpH}$	$k_{иpH} \cdot tg\varphi$	$n p^2 H$			$n \varepsilon$	$Kp$	$Pp, кВт$	
Наименование ЭП	Кол-во ЭП, n	Номинальная мощность, кВт		$k_{и}$	$\cos\varphi/tg\varphi$									
		Одног о ЭП, p H	Общая $P_{и}=p_{и} n$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>РП1</b>														
Кран-балка 31	1	10	10	0,1	0,5/1,73	1,00	1,73	100,00						
Кран-балка 32	1	7,5	7,5	0,06	0,5/1,73	0,45	0,78	56,25						
Вентилятор 64	1	7,5	7,5	0,4	0,7/1,02	3,00	3,06	56,25						
<b>Итого по РП 1</b>	<b>3</b>		<b>25</b>	<b>0,18</b>		<b>4,45</b>	<b>5,57</b>	<b>212,50</b>	<b>2</b>	<b>2,6</b>	<b>11,41</b>	<b>6,13</b>	<b>12,95</b>	<b>19,68</b>
<b>РП2</b>														
Вер-сверлильный станок 33	1	5	5	0,14	0,5/1,73	0,7	1,21	25						
Сварочный трансформатор 34	1	20	20	0,3	0,4/2,29	6	13,74	400						
Фрезеровочный станок 35,36	2	3	6	0,14	0,5/1,73	0,84	1,45	18						
Кран–балка 37	1	10	20	0,1	0,5/1,73	2	3,46	100						
Выпрямитель 38	1	20	20	0,2	0,65/1,17	4	4,68	400						

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>РПЗ</b>														
Вентилятор 65	1	7,5	7,5	0,4	0,7/1,02	3	3,06	56,25						
<b>Итого по РПЗ</b>	<b>7</b>		<b>78,5</b>	<b>0,21</b>		<b>16,54</b>	<b>27,60</b>	<b>999,25</b>	<b>6</b>	<b>1,6</b>	<b>26,18</b>	<b>30,36</b>	<b>40,09</b>	<b>60,92</b>
Точильный станок 47	1	5,5	5,5	0,14	0,5/1,73	0,8	1,33	30,3						
Токарный станок 48	1	15	15	0,14	0,5/1,73	2,1	3,63	225						
Вентилятор 66	1	7,5	7,5	0,4	0,7/1,02	3	3,06	56,25						
<b>Итого по РПЗ</b>	<b>3</b>		<b>28</b>	<b>0,21</b>		<b>5,87</b>	<b>8,02</b>	<b>311,55</b>	<b>2</b>	<b>3,3</b>	<b>19,35</b>	<b>8,82</b>	<b>21,26</b>	<b>32,31</b>
<b>РП4</b>														
Координатно– расточный станок 39	1	22	22	0,14	0,5/1,73	3,1	5,33	484						
Трубогибочный станок 40	1	7,5	7,5	0,14	0,5/1,73	1,04	1,82	56,3						
Рельсорезный станок 41	1	7,5	7,5	0,14	0,5/1,73	1,04	1,82	56,3						
Фрезерный станок 42,43	2	15	30	0,14	0,5/1,73	4,2	7,27	450						
Шлифовальный Станок 44,45,46	3	7,5	22,5	0,14	0,5/1,73	3,15	5,45	169						
<b>Итого по РП4</b>	<b>8</b>		<b>89,5</b>	<b>0,14</b>		<b>12,53</b>	<b>21,69</b>	<b>1215,6</b>	<b>6</b>	<b>2,1</b>	<b>26,26</b>	<b>23,86</b>	<b>35,48</b>	<b>53,91</b>
<b>РП5</b>														
Гидравлический пресс 49,50	2	15	30	0,65	0,8/0,75	19,50	14,63	450,00						
Сварочный трансформатор 51	1	20	20	0,3	0,4/2,29	6,00	13,74	400,00						
Кран–балка 52	1	15	15	0,1	0,5/1,73	1,50	2,59	225,00						

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Вентилятор 67	1	7,5	7,5	0,4	0,7/1,02	3,00	3,06	56,25						
<b>Итого по РП5</b>	<b>5</b>		<b>72,5</b>	<b>0,41</b>		<b>30,00</b>	<b>34,02</b>	<b>1131,3</b>	<b>4</b>	<b>1,3</b>	<b>37,38</b>	<b>37,42</b>	<b>52,89</b>	<b>80,36</b>
<b>РП6</b>														
Сварочный трансформатор 53	1	10	10	0,3	0,4/2,29	3,00	6,87	100,00						
Электрололот 54	1	20	20	0,24	0,65/1,1	4,80	5,62	400,00						
Электродпечь 55	1	30	30	0,5	0,95/0,3 3	15,00	4,95	900,00						
Вентилятор горна 56,57	2	15	30	0,75	0,85/0,6 2	22,50	13,95	450,00						
Вентилятор 69,68	2	7,5	15	0,4	0,7/1,02	6,00	6,12	112,50						
<b>Итого по РП6</b>	<b>7</b>		<b>105</b>	<b>0,49</b>		<b>51,3</b>	<b>37,51</b>	<b>1962,5</b>	<b>5</b>	<b>1,2</b>	<b>59,51</b>	<b>41,26</b>	<b>72,41</b>	<b>110</b>
<b>РП7</b>														
Кран–балка 58,59	2	10	20	0,1	0,5/1,73	2,00	3,46	200,00						
Токарный станок 60,61	2	15	30	0,14	0,5/1,73	4,20	7,27	450,00						
Вентилятор 70	1	7,5	7,5	0,4	0,7/1,02	3,00	3,06	56,25						
<b>Итого по РП7</b>	<b>5</b>		<b>57,5</b>	<b>0,16</b>		<b>9,20</b>	<b>13,79</b>	<b>706,25</b>	<b>4</b>	<b>2,3</b>	<b>20,81</b>	<b>15,17</b>	<b>25,75</b>	<b>39,13</b>
<b>РП8</b>														
Сварочный трансформатор 1	1	20	20	0,3	0,4/2,29	6,00	13,74	400,00						
Зарядное устройство 2	1	15	15	0,4	0,7/1,02	6,00	6,12	225,00						

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сварочный тр-ор ПВ=40% 3	1	20	20	0,25	0,35/2,6 8	5,00	13,40	400,00						
Домкрат 5,6,7,8	4	15	60	0,17	0,5/1,73	10,20	17,65	900,00						
Вентилятор 62	1	20	20	0,5	0,75/0,8 8	10,00	8,80	400,00						
<b>Итого по РП8</b>	<b>8</b>		<b>135</b>	<b>0,28</b>		<b>37,2</b>	<b>59,71</b>	<b>2325</b>	<b>7</b>	<b>1,3</b>	<b>48,52</b>	<b>65,68</b>	<b>81,66</b>	<b>124,1</b>
<b>РП9</b>														
Зарядное устройство 4	1	15	15	0,4	0,7/1,02	6	6,12	225						
Кран-балка 9	1	30	30	0,2	0,5/1,73	6	10,38	900						
Сверлильный станок 12	1	2	2	0,14	0,5/1,73	0,3	0,5	4						
Точильный станок 13	1	5,5	5,5	0,14	0,5/1,73	0,77	1,33	30,25						
Выпрямитель 14	1	8	8	0,2	0,65/1,1 7	1,6	1,9	64						
Сварочный трансформатор 15,16,17	3	20	60	0,3	0,4/2,3	18	41,2	1200						
<b>Итого по РП9</b>	<b>8</b>		<b>120,5</b>	<b>0,27</b>		<b>32,65</b>	<b>61,40</b>	<b>2423,3</b>	<b>6</b>	<b>1,4</b>	<b>45,02</b>	<b>67,54</b>	<b>81,17</b>	<b>123,3</b>
<b>РП10</b>														
Механический пресс 10,11	2	3,5	7	0,65	0,8/0,75	4,55	3,41	24,5						
Вертикально-сверлильный станок 18	1	5	5	0,14	0,5/1,73	0,7	1,21	25						
Фрезерный станок 19,20	2	3	6	0,14	0,5/1,73	0,84	1,45	18						
Пресс фрикционный 21	1	10	10	0,65	0,8/0,75	6,5	4,9	100						

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Вентилятор 63	1	20	20	0,5	0,75/0,9	10	8,8	400						
Испытательный стенд 22	1	5,5	5,5	0,17	0,65/1,1 7	0,94	1,1	303						
<b>Итого по РП10</b>	<b>8</b>		<b>53,5</b>	<b>0,44</b>		<b>23,5</b>	<b>20,84</b>	<b>597,75</b>	<b>4</b>	<b>1,2</b>	<b>29,03</b>	<b>22,93</b>	<b>36,99</b>	<b>56,20</b>
<b>РП11</b>														
Испытательный стенд 23,24,25	3	5,5	16,5	0,17	0,65/1,1 7	2,81	3,28	90,75						
<b>Итого по РП11</b>	<b>3</b>		<b>16,5</b>	<b>0,17</b>		<b>2,81</b>	<b>3,28</b>	<b>90,75</b>	<b>3</b>	<b>2,7</b>	<b>7,46</b>	<b>3,61</b>	<b>8,28</b>	<b>12,59</b>
<b>РП12</b>														
Муфельная печь 26,27	2	15	30	0,5	0,95/0,3 3	15,00	4,95	450,00						
Вулканизационный станок 28	1	3	3	0,5	0,95/0,3	1,50	0,49	9,00						
<b>Итого по РП12</b>	<b>3</b>		<b>33</b>	<b>0,5</b>		<b>16,5</b>	<b>5,44</b>	<b>459,00</b>	<b>2</b>	<b>1,6</b>	<b>26,40</b>	<b>5,98</b>	<b>27,07</b>	<b>41,13</b>
<b>РП13</b>														
Сварочный трансформатор 29,30	2	20	40	0,3	0,4/2,29	12	27,48	800,00						
<b>Итого по РП13</b>	<b>2</b>		<b>40</b>	<b>0,3</b>		<b>12</b>	<b>27,48</b>	<b>800,00</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>29,40</b>	<b>30,23</b>	<b>42,17</b>	<b>64,07</b>
<b>РУНН</b>														
РП1	3		25	0,18		4,45	5,57	212,5						
РП2	7		78,5	0,21 1		16,54	27,60	999,25						

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП3	3		28	0,21		5,87	8,02	311,55						
РП4	8		89,5	0,14		12,53	21,69	1215,6						
РП5	5		72,5	0,41		30	34,02	1131,3						
РП6	7		105	0,49		51,3	37,51	1962,5						
РП7	5		57,5	0,16		9,2	13,79	706,25						
РП8	8		135	0,28		37,2	59,71	2325						
РП9	8		120,5	0,27		32,65	61,40	2423,2 5						
РП10	8		53,5	0,44		23,53	20,84	597,75						
РП11	3		16,5	0,17		2,81	3,28	90,75						
РП12	3		33	0,5		16,5	5,44	459						
РП13	2		40	0,3		12	27,48	800						
<b>Итого по РУНН</b>	<b>70</b>		<b>854,5</b>	<b>0,4</b>		<b>255</b>	<b>326,35</b>	<b>13235</b>	<b>55</b>	<b>0,6</b>	<b>165,73</b>	<b>326,35</b>	<b>366,02</b>	<b>556,1</b>

### 3.3 Выбор и проверка аппаратов защиты

Аппараты защиты выбираются для защиты ЭП от ТКЗ и перегрузок.

Токи КЗ могут достигать значений в десятки раз превышающих номинальные токи присоединенных ЭП и допустимые токи проводников  $I_{доп}$ .

Для предотвращения чрезмерного нагрева проводников и электрооборудования каждый участок сети должен быть снабжен защитным аппаратом, отключающим поврежденный элемент сети с наименьшим временем действия.

Ниже приведен пример выбора АВ для ЭП токарный станок с

$$P_{ном} = 15 \text{ кВт} \text{ и } I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cos \varphi \eta} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 28,26 \text{ А.}$$
$$I_{ном. АВ} \geq K_{зап} \cdot I_{ном} = 1,15 \cdot 28,26 = 32,5 \text{ А}$$
$$I_{ном. тепл} \geq K_{зап} \cdot I_{ном} = 1,15 \cdot 28,26 = 32,15 \text{ А}$$

где  $K_{зап}$  - нерегулируемая характеристика выключателей серии ВА с комбинированными расцепителями.

Выбираем автоматический выключатель типа ВА13-29 с  $I_{ном АВ} = 63 \text{ А}$  и тепловым расцепителем  $I_{ном тепл} = 63 \text{ А}$ .

Определяем необходимую уставку срабатывания в зоне КЗ:

$$I_{пуск} = K_{пуск} \cdot I_{ном} = 5 \cdot 47,98 = 239,9 \text{ А}$$

$$I_{ном эо} \dots \geq 1,5 \cdot I_{пуск} = 1,5 \cdot 239,9 = 359,8 \text{ А}$$

Величины уставок срабатывания имеют дискретные значения, для

удобства определим

$$K_{кз} \geq \frac{I_{ном.э.д.}}{I_{ном.тепл.}} = \frac{359,8}{63} = 5,7$$

Тогда  $K_{кз} = 6$

и

$$I_{ном.э.д.} = K_{кз} \cdot I_{ном.тепл.} = 6 \cdot 63 = 378 \text{ А.}$$

Остальные ВА представлены в таблице 4.



Таблица 4 – Выбор выключателей ЭП

РП	n	I <sub>ном</sub>	K <sub>зап</sub>	I <sub>номKзап</sub>	K <sub>пуск</sub>	I <sub>пуск</sub>	1,5I <sub>пуск</sub>	Выключатель	I <sub>номAB</sub>	I <sub>тепл</sub>	K <sub>кз</sub>	I <sub>эо</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
РП1												
	1	18,82	1,15	21,64	5	94,08	141,12	BA13-29	63	25	6	150
	1	14,11		16,23	5	70,56	105,84	BA13-29	63	20	6	120
	1	14,11		16,23	5	70,56	105,84	BA13-29	63	20	6	120
РП2												
	1	9,41		10,82	5	47,04	70,56	BA13-29	63	12,5	6	75
	1	37,63		43,28	3	112,89	169,34	BA13-29	63	50	6	300
	2	5,64		6,49	5	28,22	42,33	BA13-29	63	8	6	48
	1	18,82		21,64	5	94,08	141,12	BA13-29	63	25	6	150
	1	37,63		43,28	5	188,15	282,23	BA13-29	63	50	6	300
	1	14,11		16,23	5	70,56	105,84	BA13-29	63	20	6	120
РП3												
	1	10,35		11,90	5	51,74	77,61	BA13-29	63	12,5	6	75
	1	28,22		32,46	5	141,12	211,67	BA13-29	63	63	6	378
	1	14,11		16,23	5	70,56	105,84	BA13-29	63	20	6	120
РП4												
	1	41,39		47,60	5	206,97	310,45	BA13-29	63	50	12	600
	1	14,11		16,23	5	70,56	105,84	BA13-29	63	20	6	120
	1	14,11		16,23	5	70,56	105,84	BA13-29	63	20	6	120
	2	28,22		32,46	5	141,12	211,67	BA13-29	63	40	6	240
	3	14,11		16,23	5	70,56	105,84	BA13-29	63	20	6	120
РП5												
	2	28,22		32,46	5	141,12	211,67	BA13-29	63	40	6	240

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1	37,63		43,28	3	112,89	169,34	BA13-29	63	50	6	300
	1	28,22		32,46	5	141,12	211,67	BA13-29	63	40	6	240
	1	14,11		16,23	5	70,56	105,84	BA13-29	63	20	6	120
РП6												
	1	18,82		21,64	3	56,45	84,67	BA13-29	63	25	6	150
	1	37,63		43,28	5	188,15	282,23	BA13-29	63	50	6	300
	1	56,45		64,91	1	56,45	84,67	BA57-35	250	80	2,5	200
	2	28,22		32,46	5	141,12	211,67	BA13-29	63	40	6	240
	2	14,11		16,23	5	70,56	105,84	BA13-29	63	20	6	120
РП7												
	2	18,82		21,64	5	94,08	141,12	BA13-29	63	25	6	150
	2	28,22		32,46	5	141,12	211,67	BA13-29	63	40	6	240
	1	14,11		16,23	5	70,56	105,84	BA13-29	63	20	6	120
РП8												
	1	37,63		43,28	3	112,89	169,34	BA13-29	63	50	6	300
	1	28,22		32,46	5	141,12	211,67	BA13-29	63	40	6	240
	1	37,63		43,28	3	112,89	169,34	BA13-29	63	50	6	300
	4	28,22		32,46	5	141,12	211,67	BA13-29	63	40	6	240
	1	37,63		43,28	5	188,15	282,23	BA13-29	63	50	6	300
РП9												
	1	28,22		32,46	5	141,12	211,67	BA13-29	63	40	6	240
	1	56,45		64,91	5	282,23	423,35	BA57-35	250	80	6	480
	1	3,76		4,33	5	18,82	28,22	BA13-29	63	5	6	30
	1	10,35		11,90	5	51,74	77,61	BA13-29	63	16	6	96

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1	15,05		17,31	5	75,26	112,89	BA13-29	63	20	6	120
	3	37,63		43,28	3	112,89	169,34	BA13-29	63	50	6	300
РП10												
	2	6,59		7,57	5	32,93	49,39	BA13-29	63	10	6	60
	1	9,41		10,82	5	47,04	70,56	BA13-29	63	12,5	6	75
	2	5,64		6,49	5	28,22	42,33	BA13-29	63	8	6	48
	1	18,82		21,64	5	94,08	141,12	BA13-29	63	25	6	150
	1	37,63		43,28	5	188,15	282,23	BA13-29	63	50	6	300
	1	10,35		11,90	5	51,74	77,61	BA13-29	63	16	6	96
РП11												
	3	10,35		11,90	5	51,74	77,61	BA13-29	63	16	6	96
РП12												
	2	28,22		32,46	1	28,22	42,33	BA13-29	63	40	3	120
	1	5,64		6,49	1	5,64	8,47	BA13-29	63	8	3	24
РП13												
	2	37,63		43,28	3	112,89	169,34	BA13-29	63	50	6	300

Расчет выбора автоматического выключателя для защиты РП–1 локомотивного депо топливно-транспортного цеха, который питается от РУНН через АВ.

$$\text{Длительный ток ШР1: } I_{РП1} = 19,68A$$

$$\text{Номинальный ток АВ: } I_{номАВ} > I_{тепл} \geq K_{зан} I_{длит} = 1,1 \cdot 19,68 = 21,65кА$$

Пиковый ток группы ЭП:

$$I_{пик} = I_{пускmax} + (\sum I_{расч} - I_{номmax}) = 159,93 + (23,99 + 17,14) = 201,03кА$$

где:

$I_{пускmax}$  - наибольший из пусковых токов двигателей в группе по паспортным данным;

$I_{номmax}$  - номинальный (приведенный к ПВ = 100%) ток двигателя с наибольшим пусковым током;

$K_u$  - коэффициент использования, характерный для двигателя, имеющего наибольший пусковой ток;

$I_{расч}$  - расчетный ток нагрузки всей группы электроприемников.

Выбираем выключатель ВА13-29 с  $I_{ном АВ} = 63A$ , тепловым расцепителем  $I_{ном тепл..} = 25A$  и

$$I_{ном.ЭО} \geq 1,25; I_{пик} = 1,25 \cdot 201,03 = 251,29A = 25 \cdot 12 = 300 A$$

Для остальных РП сведём в таблицу 5.

Таблица 5 – Выбор выключателей РП

<b>РП</b>	<b>n</b>	<b>I<sub>расч</sub></b>	<b>I<sub>расч</sub>Кзап</b>	<b>I<sub>пик</sub></b>	<b>1,25I<sub>пик</sub></b>	<b>Выключатель</b>	<b>I<sub>номАВ</sub></b>	<b>I<sub>тепл</sub></b>	<b>К<sub>кз</sub></b>	<b>I<sub>зо</sub></b>
РП1	3	19,68	21,65	201,03	251,29	ВА13-29	63	25	12	300
РП2	7	60,92	67,01	297,1249	371,41	ВА57-35	250	80	5	400
РП3	3	32,31	35,54	274,63	343,29	ВА13-29	63	40	12	480
РП4	8	53,91	59,30	395,9079	494,88	ВА13-29	63	63	12	756
РП5	5	80,36	88,40	396,99	496,24	ВА57-35	250	100	5	500
РП6	7	110,02	121,02	344,2601	430,33	ВА57-35	250	125	4	500
РП7	5	39,13	43,04	369	461,25	ВА13-29	63	50	12	600
РП8	8	124,07	136,48	375,3938	469,24	ВА57-35	250	160	4	640
РП9	8	123,33	135,66	583,9256	729,91	ВА57-35	250	160	5	800
РП10	8	56,20	61,82	248,1192	310,15	ВА13-29	63	63	6	378
РП11	3	12,59	13,84	94,72	118,4	ВА13-29	63	16	12	192
РП12	3	41,13	45,24	55,55	69,44	ВА13-29	63	50	3	150
РП13	2	64,07	70,47	319,87	399,84	ВА57-35	250	80	5	400
ТП РУНН	70	958,32	1054,15	1418,92	1773,65	ВА74-43	1600	1200	2	2400

### 3.4 Выбор распределительных шкафов

Распределительные шкафы ремонтно-механического цеха выполнены как в напольном, так и в навесном исполнении. ШР состоят из металлической оболочки со встроенными аппаратами защиты ЭП, приборами и сборными шинами. Устанавливаем шкафы распределения серии ПР8503, предназначенных для эксплуатации в цепях с номинальным напряжением до 660В переменного тока частотой 50 Гц. (1, П8.1., стр. 260).

Таблица 6 – Выбор шкафов ПР8503

РП	Колво ЭП	Шкаф	Число отходящих линий	Расчётный ток	Ток шкафа
РП1	3	1130-1	4	19,68	200
РП2	7	1132-1	8	60,92	200
РП3	3	1130-1	4	32,31	200
РП4	8	1132-1	8	53,91	200
РП5	5	1131-1	6	80,36	200
РП6	7	1132-1	8	110,02	200
РП7	5	1131-1	6	39,13	200
РП8	8	1132-1	8	124,07	200
РП9	8	1132-1	8	123,33	200
РП10	8	1132-1	8	56,20	200
РП11	3	1130-1	4	12,59	200
РП12	3	1130-1	4	41,13	200
РП13	2	1130-1	4	64,07	200

### 3.5 Выбор сечений цеховых электрических сетей

Выбор сечений проводников питающей сети цеха производится из условий допустимого нагрева длительно протекающим максимальным током нагрузки, допустимой потери напряжения, по условию соответствия выбранному аппарату защиты. Ниже представлен пример выбора сечения питающей линии от РП1 до ЭП №2  $P_{ном} = 7,5кВт$  (Кран–балка).

Допустимый длительный ток четырехжильных кабелей с пластмассовой изоляцией, согласно таблице 1.3.7 [ПУЭ], берется при расчетах с  $k = 0,92$ . Также при выборе учитывается прокладка кабеля в воздухе.

Предварительно выбираем кабель АВВГ – 4х50 и производим следующие проверки:

1. По условию нагрева длительно расчетным током во взрывоопасных зонах:

$$I_{доп} \cdot k \geq \frac{I_{ном}}{K_{прокл}}$$
$$110 \cdot 0,92 = 101,2 A \geq \frac{79,97}{1} = 79,97 A \quad (10)$$

2. По условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защиты:

$$I_{доп} \geq \frac{K_{защ} \cdot I_{защ}}{K_{прокл}}$$
$$K_{прокл} = K_1 \cdot K_2 = 1 \cdot 1 = 1 \quad (11)$$

где  $K_1$  -коэффициент, учитывающий влияние температуры окружающей среды [ПУЭ, табл. 1.3.3]. Температура нормальная  $+25^{\circ}C$ .  $K_2$  - учитывает влияние рядом проложенных кабельных линий [ПУЭ, табл. 1.3.26].  $K_{защ} = 1$  - кратность длительно допустимого тока для провода или кабеля по отношению к току срабатывания защитного аппарата.

$$101,2A \geq \frac{1 \cdot 100}{1} = 100A$$

3. По условию перегрузки – таких кабелей нет (радиальная схема электроснабжения)

Принимаем кабель марки АВВГ – (4х50): $I_{доп} = 101,2A$ .

Остальные выбранные питающие линии к ЭП представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор сечений кабельных линий цеха

РП	n	Iном,А	Кзщ.	Кзщ защI.,А	Кабель	Iдоп,А
1	2	3	4	5	6	7
РП1	3			25	АВВГ–(4х6)	29
	1	18,82	1	25	АВВГ–(4х10)	42
	1	14,11	1	20	АВВГ–(4х4)	25
	1	14,11	1	20	АВВГ–(4х4)	27
РП2				80	АВВГ–(4х35)	83
	1	9,41	1	12,5	АВВГ–(4х4)	25
	1	37,63	1	50	АВВГ–(4х16)	55
	2	5,64	1	8	АВВГ–(4х4)	25
	1	18,82	1	25	АВВГ–(4х6)	29
	1	37,63	1	50	АВВГ–(4х16)	55
	1	14,11	1	20	АВВГ–(4х4)	25
РП3				40	АВВГ–(4х16)	55
	1	10,35	1	12,5	АВВГ–(4х4)	25
	1	28,22	1	63	АВВГ–(4х25)	69
	1	14,11	1	20	АВВГ–(4х4)	27
РП4				63	АВВГ–(4х25)	69
	1	41,39	1	50	АВВГ–(4х16)	55
	1	14,11	1	20	АВВГ–(4х4)	25
	1	14,11	1	20	АВВГ–(4х4)	25
	2	28,22	1	40	АВВГ–(4х16)	55
	3	14,11	1	20	АВВГ–(4х4)	25
РП5				100	АВВГ–(4х50)	101
	2	28,22	1	40	АВВГ–(4х16)	55
	1	37,63	1	50	АВВГ–(4х16)	55
	1	28,22	1	40	АВВГ–(4х16)	55
	1	14,11	1	20	АВВГ–(4х4)	25



## Окончание таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7
РП6				125	АВВГ-(4x70)	129
	1	18,82	1	25	АВВГ-(4x4)	29
	1	37,63	1	50	АВВГ-(4x16)	55
	1	56,45	1	80	АВВГ-(4x35)	83
	2	28,22	1	40	АВВГ-(4x16)	55
	2	14,11	1	20	АВВГ-(4x4)	25
РП7				50	АВВГ-(4x16)	55
	2	18,82	1	25	АВВГ-(4x4)	29
	2	28,22	1,25	50	АВВГ-(4x16)	55
	1	14,11	1,25	25	АВВГ-(4x6)	29
РП8				160	АВВГ-(4x120)	184
	1	37,63	1	50	АВВГ-(4x16)	55
	1	28,22	1	40	АВВГ-(4x16)	55
	1	37,63	1	50	АВВГ-(4x16)	55
	4	28,22	1	40	АВВГ-(4x16)	55
	1	37,63	1	50	АВВГ-(4x16)	55
РП9				160	АВВГ-(4x120)	184
	1	28,22	1	40	АВВГ-(4x16)	55
	1	56,45	1	80	АВВГ-(4x35)	83
	1	3,76	1	5	АВВГ-(4x4)	25
	1	10,35	1	16	АВВГ-(4x4)	25
	1	15,05	1	20	АВВГ-(4x4)	25
	3	37,63	1	50	АВВГ-(4x16)	55
РП10				63	АВВГ-(4x25)	69
	2	6,59	1	10	АВВГ-(4x4)	25
	1	9,41	1	12,5	АВВГ-(4x4)	25
	2	5,64	1	8	АВВГ-(4x4)	25
	1	18,82	1	25	АВВГ-(4x6)	29
	1	37,63	1	50	АВВГ-(4x16)	55
	1	10,35	1	16	АВВГ-(4x4)	25
РП11				16	АВВГ-(4x4)	25
	3	10,35	1	16	АВВГ-(4x4)	25
РП12				50	АВВГ-(4x16)	55
	2	28,22	1	40	АВВГ-(4x16)	55
	1	5,64	1	8	АВВГ-(4x4)	25
РП13				80	АВВГ-(4x35)	83
	2	37,63	1	50	АВВГ-(4x16)	55

### 3.6 Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения. Построение эпюры отклонения напряжения от РП до наиболее мощного и удаленного ЭП

Согласно ПУЭ для силовых сетей отклонение напряжения от номинального должно составлять не более  $\pm 5\% U_n$ . Для осветительных сетей промышленных предприятий и общественных зданий допускается отклонение напряжения от  $+5\%$  до  $-2,5\% U_n$ . Наиболее удаленным и мощным ЭП топливно-транспортного цеха является Кран–балка (ЭП №9). Расчет цеховой сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонения напряжения выполняется для цепочки РП(10кВ) – ТП2 – РП9 – ЭП №9. Подстанция ТП2 – двухтрансформаторная, следовательно, необходимо рассмотреть максимальный, минимальный и послеаварийный режим работы сети.

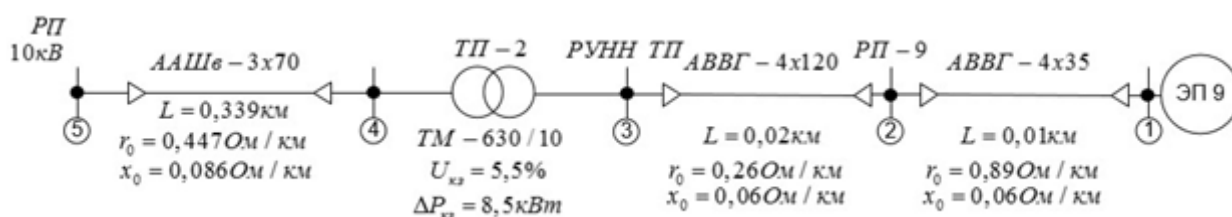


Рисунок 5 – Схема для построения эпюр напряжения

Нагрузки максимального режима:

$$\text{Узел №1 (ЭП): } P_{расч}^{№1} = 30 \text{ кВт}, S_{расч}^{№1} = \frac{30}{0,85} = 35,29 \text{ кВА},$$

$$Q_{расч}^{№1} = \sqrt{35,29^2 - 30^2} = 18,59 \text{ кВар}.$$

$$\text{Узел №2 (РП9): } P_{расч}^{№2} = 45,02 \text{ кВт}, Q_{расч}^{№2} = 67,54 \text{ кВар}, S_{расч}^{№2} = 81,17 \text{ кВА}.$$

$$\text{Узел №3 (РУНН ТП): } P_{расч}^{№3} = 795,65 \text{ кВт}, Q_{расч}^{№3} = 843,48 \text{ кВар}, \text{ из них}$$

$$Q_{кб} = 400 \text{ кВар}, S_{расч}^{№3} = 1159,529 \text{ кВА}.$$

Определим потери в трансформаторе ТМЗ – 630/10:

1. Потери активной мощности:

$$\begin{aligned}\Delta P_{тр} &= \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot \beta^2 = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot \left( \frac{S_{расч}^{№3}}{n_{тр} \cdot S_{ном}^{тр}} \right)^2 = \\ &= 2,3 + 8,5 \cdot \left( \frac{1159,529}{2 \cdot 630} \right)^2 = 9,5 \text{ кВт} \\ \Delta Q_{тр} &= \Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз} \cdot \beta^2 = S_{ном}^{тр} \cdot \frac{I_{xx}}{100} + \frac{U_{кз}}{100} \cdot \left( \frac{S_{расч}^{№3}}{n_{тр} \cdot S_{ном}^{тр}} \right)^2 = \\ &= 630 \cdot \frac{3,2}{100} + \frac{5,5}{100} \cdot \left( \frac{1159,53}{2 \cdot 630} \right)^2 = 20,21 \text{ кВар}\end{aligned}\tag{12}$$

Тогда расчетная нагрузка в узле 4:

$$P_{расч}^{№4} = P_{расч}^{№3} + \Delta P_{тр} = 795,65 + 9,5 = 805,15 \text{ кВт}$$

$$Q_{расч}^{№4} = Q_{расч}^{№3} + \Delta Q_{тр} = 843,48 + 20,21 = 863,69 \text{ кВар}$$

$$S_{расч}^{№4} = \sqrt{(P_{расч}^{№4})^2 + (Q_{расч}^{№4})^2} = \sqrt{805,15^2 + 863,69^2} = 1180,77 \text{ кВА}$$

Потери напряжения для максимального режима

Участок 5-4

Потери напряжения на данном участке определим по выражению:

$$\Delta U_{5-4} = \frac{P_4 \cdot R_{5-4} + Q_4 \cdot X_{5-4}}{10 \cdot U_1^2}\tag{13}$$

где  $R_{5-4\%}$  и  $X_{5-4\%}$  активное и индуктивное сопротивления КЛ, питающей ТП1,  $U_1$  - напряжение на шинах РУ НН РП (величину напряжения в начале участка в максимальном режиме принимаем равным  $U_1 = 10,5 \text{ кВ}$ ). Т.к. потери мощности на участке 5-4 крайне малы, поэтому ими пренебрегаем.

$$\Delta U_{5-4\%} = \frac{P_4 \cdot R_{5-4} + Q_4 \cdot X_{5-4}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{805,15 \cdot 0,447 + 863,69 \cdot 0,086}{10 \cdot 10,5^2} \cdot 0,339 = 0,133\%$$

В вольтах:

$$U_4 = U_5 - \Delta U_{5,4} = 10500 - 14,02 = 10485,98B$$

Тогда напряжение в узле 4:

$$U_4 = U_5 - \Delta U_{5,4\%} = 10500 - 14,02 = 10485,98B$$

Участок 4-3

Потери напряжения на участке 3 – 4 определяются потерей напряжения на цеховом трансформаторе и определяется по выражению:

$$\Delta U_m = \beta_m (U_a \cdot \cos\varphi_2 + U_p \sin\varphi_2) + \beta_m^2 / 200 (U_a \cdot \sin\varphi_2 - U_p \cdot \cos\varphi_2)^2 \quad (14)$$

где  $U_a$ ,  $U_p$  - активная и реактивная составляющие напряжения КЗ,  $\sin\varphi_2$  и  $\cos\varphi_2$  - коэффициенты мощности по нагрузке трансформатора (с учетом установки компенсирующих устройств)

Активная и реактивная составляющие:

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_k \cdot 100}{S_{ном.тр.}} = \frac{8,5 \cdot 100}{630} = 1,35\%$$

$$U_{p\%} = \sqrt{U_{кз}^2 - U_{a\%}^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,35^2} = 5,33\% \quad (15)$$

Коэффициенты мощности для вторичной нагрузки цехового трансформатора определяем по выражению

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_4}{\sqrt{P_4^2 + Q_4^2}} = \frac{805,15}{1180,77} = 0,682$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{Q_4}{\sqrt{P_4^2 + Q_4^2}} = \frac{863,69}{1180,77} = 0,731$$

$$\beta_m = 0,723$$

$$\begin{aligned} \Delta U_m &= \beta_m \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2)^2 = \\ &= 0,723 \cdot (1,35 \cdot 0,682 + 5,33 \cdot 0,731) + \frac{0,723^2}{200} \cdot (1,35 \cdot 0,731 - 5,33 \cdot 0,682)^2 = 3,48\% \end{aligned}$$

$$\Delta U_{4-3} = \Delta U_m \cdot \frac{U_4}{100} = 3,48 \cdot \frac{10485,98}{100} = 365,42B$$

Тогда напряжение в узле 3:

$$U_3 = (U_4 - \Delta U_{4-3}) \cdot \frac{U_m}{U_{m1}} = (10485,98 - 365,42) \cdot \frac{400}{10500} = 385,54B$$

Участок 3-2

$$\Delta U_{3-2\%} = \frac{P_2 \cdot R_{3-2} + Q_2 \cdot X_{3-2}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{45,02 \cdot 0,0052 + 67,54 \cdot 0,0012}{10 \cdot 0,385^2} = 0,25\%$$

В вольтах:

$$\Delta U_{3-2} = \Delta U_{3-2\%} \cdot \frac{U_3}{100} = 0,25 \cdot \frac{385,54}{100} = 0,96B$$

Тогда напряжение в узле 2:

$$U_2 = U_3 - \Delta U_{2-3} = 385,32 - 0,96 = 384,36B$$

Участок 2-1

$$\Delta U_{2-1\%} = \frac{P_1 \cdot R_{2-1} + Q_1 \cdot X_{2-1}}{10 \cdot U_2^2} = \frac{30 \cdot 0,0089 + 18,59 \cdot 0,0006}{10 \cdot 0,384^2} = 0,19\%$$

В вольтах:

$$\Delta U_{2-1} = \Delta U_{2-1\%} \cdot \frac{U_2}{100} = 0,19 \cdot \frac{384,36}{100} = 0,72B$$

Тогда напряжение в узле 1:

$$U_1 = U_2 - \Delta U_{1-2} = 384,36 - 0,75 = 383,64B$$

Для режимов минимальных нагрузок и послеаварийного режима расчет проводим аналогично, однако следует принять во внимание, что величину напряжения в начале участка в режиме минимальных нагрузок принимаем равным  $U_1 = 10кВ$ . В послеаварийном режиме величина нагрузки в узлах 2 и 3 увеличивается в два раза по сравнению с максимальным, а в остальных узлах остается без изменений. Также следует отметить, что нагрузка ЭП №9 считается постоянной во всех режимах.

Таблица 8 – Результаты расчета режимов

Участок	5-4	4-3	3-2	2-1
Марка кабеля	ААШВ (3x70)	ТМЗ – 630/10	АВВГ (4x120)	АВВГ (4x35)
$R, Ом$	0,15	$U_{кз} = 5,5\%$	0,0052	0,0089
$X, Ом$	0,03	$\Delta P_{кз} = 8,5 кВт$	0,0012	0,0006
Максимальный режим				
$P, кВт,$	805,15	795,65	45,02	30
$Q, кВар$	863,69	843,48	67,54	18,59
$\Delta U, \%$	0,133	3,48	0,25	0,19
$\Delta U, В$	14,02	365,42	0,96	0,72
Минимальный режим				
$P, кВт,$	257,65	254,93	14,41	9,6
$Q, кВар$	475,03	463,1	37,15	10,22
$\Delta U, \%$	0,156	3,89	0,1	0,07
$\Delta U, В$	15,6	388,38	0,37	0,25
Послеаварийный режим				
$P, кВт,$	1610,2	1591,3	45,02	30
$Q, кВар$	1727,38	1686,96	67,54	18,59
$\Delta U, \%$	0,79	3,54	0,25	0,19
$\Delta U, В$	82,7	368,84	0,96	0,73

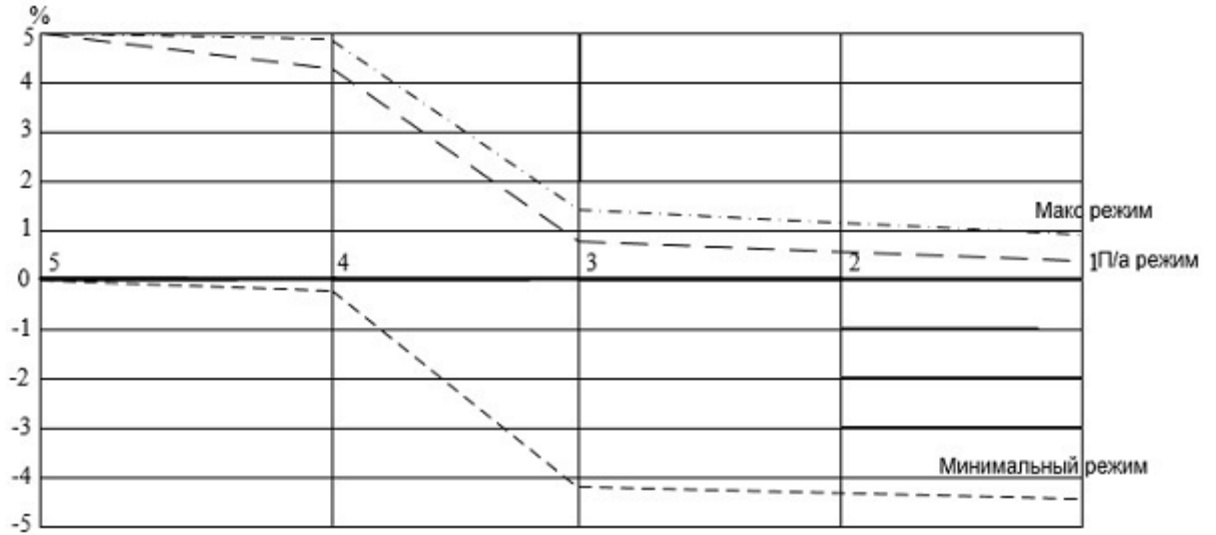
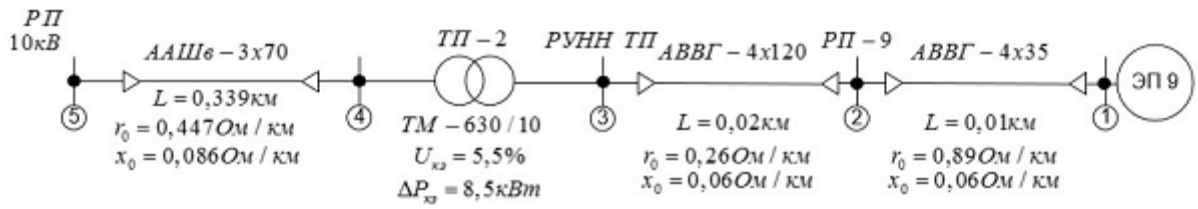


Рисунок 6 – Эпюры отклонения напряжения



### 3.7 Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В

Особенности расчета токов КЗ в сетях до 1000 В:

- 1) мощность системы ( $S_{сист}$ ) принимается бесконечной, т. е. напряжение на шинах цеховых ТП считается неизменным при КЗ в сети до 1 кВ;
- 2) учитываются активные и индуктивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети.

Расчет ведется в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети

$$U = 1,05 \cdot U_{ном\ сети} = 1,05 \cdot 380 = 400 В$$

Расчет трехфазных ТКЗ:

Ток трехфазного КЗ

$$I_{КЗ}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} \cdot Z_{рез}} \quad (16)$$

где  $Z_{рез}$  – полное сопротивление до точки КЗ

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{КЗ}^{(3)} \quad (17)$$

$k_{уд}$  - ударный коэффициент тока КЗ

Для определения ударного тока необходимо численно знать соотношение

$$\frac{X_{рез}}{R_{рез}} \quad (18)$$

Воспользуемся рисунком:

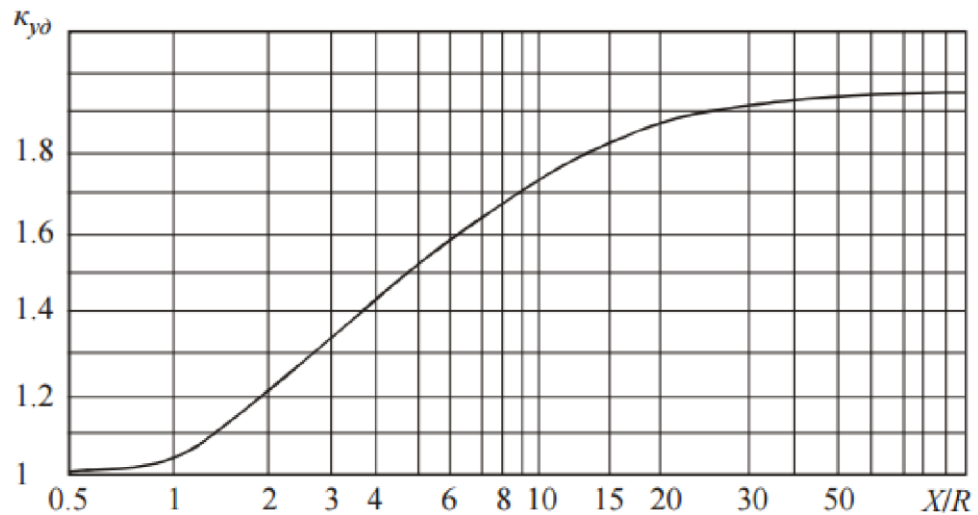


Рисунок 7 – График для определения ударного коэффициента

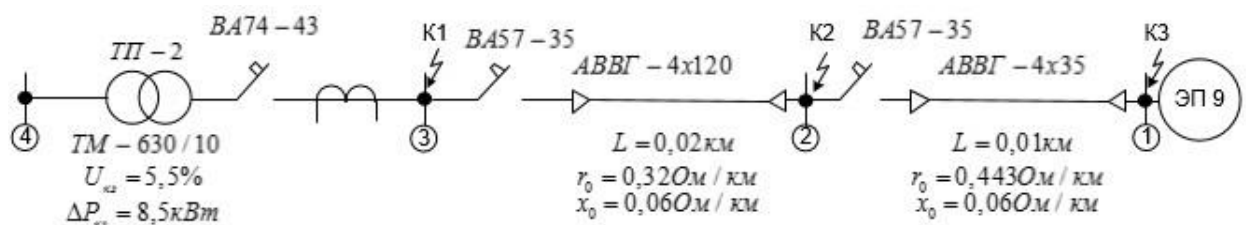


Рисунок 8 – Расчетная схема распределительной сети

Определяем сопротивления для расчета трехфазного КЗ, используя справочные данные [1]:

1. Сопротивление трансформатора:  $R_m = 3,1 мОм$

$$X_m = 13,6 мОм$$

2. Сопротивление первичной обмотки трансформатора тока ТТ:

$$R_{mm} = 0,11 мОм, X_{mm} = 0,17 мОм$$

3. Сопротивления автоматического выключателя QF1:

$$R_{QF1} = 0,11 мОм, X_{QF1} = 0,12 мОм, R_{kQF1} = 0,2 мОм$$

4. Сопротивления автоматического выключателя QF2:

$$R_{QF2} = 0,7 \text{ МОм}, X_{QF2} = 0,7 \text{ МОм}, R_{kQF2} = 0,7 \text{ МОм}$$

5. Сопротивления автоматического выключателя QF3:

$$R_{QF3} = 1 \text{ МОм}, X_{QF3} = 0,9 \text{ МОм}, R_{kQF3} = 0,72 \text{ МОм}$$

6. Сопротивления кабельной линии АВВГ–(4х120):

$$R_{кл} = r L_0 = 0,32 \cdot 0,02 = 6,4 \text{ МОм}$$

$$X_{кл} = x_0 L = 0,06 \cdot 0,02 = 1,2 \text{ МОм}$$

7. Сопротивления кабельной линии АВВГ–(4х30):

$$R_{кл} = r_0 \cdot L = 0,443 \cdot 0,01 = 4,43 \text{ МОм}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot L = 0,06 \cdot 0,01 = 0,6 \text{ МОм}$$

8. Активные переходные сопротивления неподвижных контактных соединений:

$$R_{ккл} = 0,027 \text{ МОм}, R_{кккл} = 0,029 \text{ МОм}$$

9. Переходные сопротивления ступеней распределения:

$$R_{руни} = 15 \text{ МОм},$$

Определяем эквивалентные сопротивления до точек КЗ:

$$R_1 = R_{mp} + R_{mm} + R_{руни} + R_{QF1} + R_{kQF1} = 3,1 + 0,11 + 0,15 + 0,11 + 0,2 = 18,52 \text{ МОм}$$

$$X_1 = X_{mp} + X_{mm} + X_{QF1} = 13,6 + 0,17 + 0,12 = 13,89 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_1 + R_{QF2} + R_{kQF2} + R_{ккл} + R_{кл} = 18,52 + 0,7 + 0,7 + 0,027 + 6,4 = 25,357 \text{ МОм}$$

$$X_2 = X_1 + X_{QF2} + X_{кл} = 13,89 + 0,7 + 1,2 = 15,79 \text{ МОм}$$

$$R_3 = R_2 + R_{QF3} + R_{kQF3} + R_{кл} + R_{кккл} = 25,357 + 1 + 0,72 + 4,43 + 0,029 = 31,536 \text{ МОм}$$

$$X_3 = X_2 + X_{QF3} + X_{кл} = 15,79 + 0,9 + 0,6 = 17,29 \text{ МОм}$$

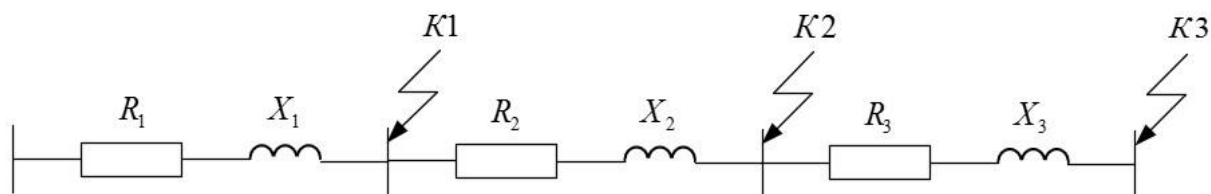


Рисунок 9 – Упрощенная схема замещения цеховой сети

$$Z_{K1} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{18,52^2 + 13,89^2} = 23,15 \text{ МОм}$$

Произведем расчеты  $I_{K1}^{(3)}$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 23,15} = 9,988 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X}{R} = \frac{13,89}{18,52} = 0,75 \text{ мс}$$

$$k_{y\phi} = 1,15$$

$$i_{y\phi} = \sqrt{2} \cdot k_{y\phi} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,15 \cdot 9,988 = 16,2 \text{ кА}$$

Расчет двухфазных ТКЗ

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{кз}}^{(3)} \tag{19}$$

Пример расчета для точки  $K_1$ :

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9,988 = 8,64 \text{ А}$$

Расчет однофазных ТКЗ

Ток однофазного КЗ определяется по формуле:

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{\text{мп}}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0}} \tag{20}$$

где  $U_\phi$  - фазное напряжение в точке КЗ,  $Z_{\phi-0}$  - полное сопротивление петли «фаза нуль» до точки КЗ,  $Z_{mp}^{(1)}$  - полное сопротивление трансформатора при однофазном КЗ.

Схема замещения для расчетов однофазного КЗ не изменится, однако необходимо добавить сопротивления нулевых проводников.

Сопротивления нулевой жилы кабельной линии:

$$R_0^{KL} = R_{KL} = 6,4 \text{ мОм}$$

Индуктивные сопротивления кабельной линии:  $X_0^{KL} = X_{kl} = 1,2 \text{ мОм}$

Сопротивления трансформатора:

$$\frac{Z_{mp}^{(1)}}{3} = \frac{\sqrt{3,1^2 + 13,6^2}}{3} = 4,65 \text{ мОм}$$

Расчет для точки К<sub>1</sub>:

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{(R_1)^2 + (X_1)^2} = \sqrt{(18,52)^2 + (13,49)^2} = 22,91 \text{ Ом}$$

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{mp}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0}} = \frac{230}{4,65 + 22,91} = 8,35 \text{ кА}$$

Аналогичным способом находим величины ТКЗ для точек К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub> и К<sub>3</sub>. Результаты представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Сводная ведомость токов КЗ

Расчетные точки		К1	К2	К3
Токи КЗ, кА	$I_{K(1)}$	8,35	5,66	4,5
	$I_{K(2)}$	8,64	6,77	5,56
	$I_{K(3)}$	9,988	7,83	6,43
	$i_{y\delta}$	16,2	11,07	9,09

Произведем проверку отключения защитными аппаратами однофазного КЗ.

Для выключателя ВА74-43 должно соблюдаться следующее условие:

$$I_{кз}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{ном.расц.} \quad (21)$$

$$8,35кА \geq 3 \cdot 1200 = 3600 \text{ А}$$

У остальных выключателей ток теплового расцепителя меньше, поэтому он точно пройдет эту проверку.

### 3.8 Построение карты селективности действия аппаратов защиты

Карта селективности действия аппаратов защиты служит для проверки правильности выбора аппаратов защиты и строится в логарифмической системе координат. На карту селективности наносятся:

- 1) Номинальный и пусковой токи электроприемника;
- 2) Расчетный и пиковый ток силового распределительного шкафа;
- 3) Расчетный и пиковый ток подстанции;
- 4) Защитные характеристики защитных аппаратов (автоматических выключателей);
- 5) Значения токов КЗ в сети 0,4 кВ.

Построим карту селективности действия аппаратов защиты для цепочки защит ТП2 – РП9 – ЭП9.

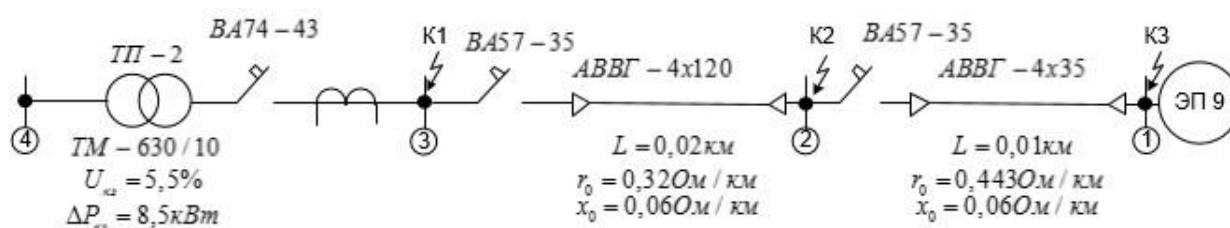


Рисунок 10 – Расчетная схема для участка цеховой сети ТП1 – ЭП №7

Таблица 10 – Данные для построения карты селективности

	РУНН	РП9	ЭП №7	ТКЗ, кА		
				1	2	3
$I_p, A$	960	123	-	8,35	5,66	4,5
$I_{пик}, A$	1014	584	-			
$I_{ном}, A$	-	-	56			
$I_{пуск}, A$	-	-	280			

Таблица 11 – Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
ВА74-43	1200	2400
ВА57-35	160	800
ВА57-35	80	480

Пояснения к рисунку 10:

1 – номинальный ток ЭП №9;

2 – пусковой ток ЭП №9;

3 – ТКЗ в точке  $K_3^{(1)}$ ;

4 – расчетный ток РП-9;

5 – пиковый ток РП-9;

6 – ТКЗ в точке  $K_2^{(1)}$ ;

7 – расчетный ток РУНН;

8 – пиковый ток РУНН ;

9 – ТКЗ в точке  $K_1^{(1)}$ ;

10,11 – защитная характеристика ВА57-35 (имеет характеристику такую же, как и ВА51 – 25) [7, часть 2, стр. 166 ];

12 – защитная характеристика ВА74-43 [7, часть 3, стр. 200].

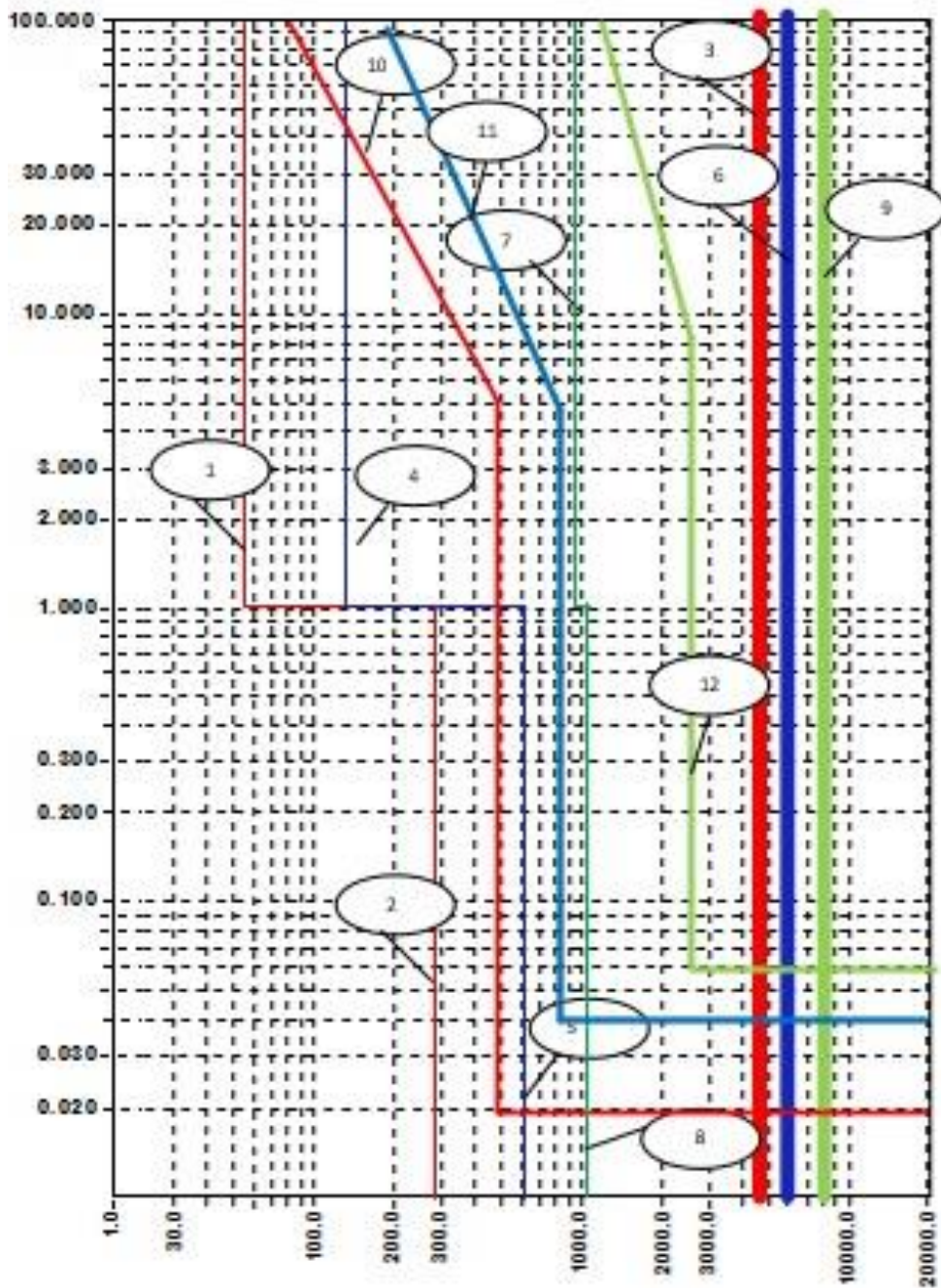


Рисунок 11 – Карта селективности



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы на тему «Реконструкция электроснабжения локомотивного депо топливно-транспортного цеха АО «Абаканская ТЭЦ» были рассмотрены все вопросы технического задания. В результате расчета электрических нагрузок топливно-транспортного цеха  $I_p = 557A$ , полная расчетная мощность составила  $S_p = 366кВА$ . Питание РП электроэнергией осуществляется от внешней энергосистемы двухцепной ВЛЭП напряжением 10кВ. Линия выполнена проводом марки АС-50/8.

Питание к электроприемникам с учетом среды помещения выполнено кабелями марки АВВГ. Аппаратами защиты в сети низкого напряжения 0,4 кВ были выбраны автоматические выключатели серий ВА. Произведены расчеты токов КЗ в нескольких точках как в сетях выше 1000 В, так и в низковольтных сетях. Согласно расчетным данным были построены эпюры отклонений напряжения для всех режимов работы (максимального, минимального, послеаварийного). Во всех режимах отклонение напряжения не превышает максимально допустимого  $\pm 5\%$ . По полученным данным расчета токов КЗ в сети 0,4 кВ построена карта селективности действия аппаратов защиты, из которой следует, что все аппараты выстроены правильно и работают селективно.

Проведена оценка коммерческой ценности проекта. Swot– анализ помог выявить экологичность и высокоэффективность выполненного проекта.

Из двух конкурирующих конфигураций питающей сети была выбрана радиальная линия. Показатель ресурсоэффективности был определен как довольно высокий, что говорит о эффективности выбранного варианта.

По результатам расчетов было установлено, что время всей работы над исследованием в календарных днях составляет: для руководителя – 19 дней, а для выпускника – 101 день. Бюджет всех затрат ВКР составляет 260000 рублей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Л.П. Сумарокова. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 288 с.
2. Г.Н. Климова, А.В. Кабышев. Элементы энергосбережения в электроснабжении промышленных предприятий: учебное пособие/ – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 189 с.
3. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие/ А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 248 с.
4. Д. Л. Файбисович. Справочник по проектированию электрических сетей – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
5. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2009. – 853 с
6. Высоковольтное электротехническое оборудование [электронный ресурс] / компания «Контакт», г. Саратов – электронные данные, URL: <http://www.kontakt-saratov.ru>, свободный – Яз. рус. Дата обращения: 03.04.2017г.
7. А.В. Кабышев, Е.В. Тарасов Низковольтные автоматические выключатели (3 из 3): учебное пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 346 с.
8. Указания по расчету электрических нагрузок - РТМ 36.18.32.4-92 – 9 с.
9. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А. Белова - М.: Знание, 2000- 364с.

10. Справочная книга для проектирования электрического освещения. / Под ред. Г.Б. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976.
11. Самгин Э.Б. Освещение рабочих мест. – М.: МИРЭА, 1989. – 186с.
12. Microsoft Office Store [электронный ресурс]: Visual Studio Professional 2013. URL: [http://www.microsoftstore.com/store/msru/ru\\_RU/pdp/Visual-Studio-Professional-2013/productID.288679300](http://www.microsoftstore.com/store/msru/ru_RU/pdp/Visual-Studio-Professional-2013/productID.288679300), свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения 12.05.2014 г.
13. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
14. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы
15. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Естественное и искусственное освещение
16. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях
17. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
18. Правила устройства электроустановок. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2001. – 928 с.
19. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (МПОТ).
20. ГОСТ 12.4.011-89. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация

21. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

22. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

23. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

24. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1991.

25. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности

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

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

Электроэнергетика, машиностроение и автомобильный транспорт  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

А.С. Торопов  
подпись инициалы, фамилия

« 28 » 06 2024г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код - наименование направления

Реконструкция электроснабжения локомотивного депо  
топливно-транспортного цеха АО «Абаканская ТЭЦ»  
тема

Руководитель

Коротков 27.06.24  
подпись, дата

доц. каф. ЭМ и АТ .к.т.н.  
должность, ученая степень

А.В. Коловский  
инициалы, фамилия

Выпускник

Коротков 27.06.2024  
подпись, дата

К.Д. Коротков  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

Кычакова 27.06.2024  
подпись, дата

И.А. Кычакова  
инициалы, фамилия

Абакан 2024