

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

Институт энергетики и электротехники  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование)

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

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему: «Электроснабжение ремонтного завода»

Студент

А.С. Ромашкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. О.В. Самолина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Аннотация

Ремонт вагонов обеспечивает содержание подвижного состава, находящегося в эксплуатации, в исправном состоянии, что, в свою очередь, гарантирует его бесперебойную работу, безопасность движения поездов, удобство пассажиров и сохранность перевозимых грузов. Одно из условий успешного и качественного ремонта вагонов - соответствие современным требованиям и стандартам.

Содержание вагонов в исправном состоянии достигается регулярным техническим обслуживанием их в пути следования и своевременным ремонтом изношенных и поврежденных элементов вагона.

Для бесперебойной эксплуатации существует четкая система ремонта и технического обслуживания пассажирских и грузовых вагонов, предусматривающая проведение как деповского и капитального, так и текущего ремонта.

Ремонт вагонов – это сложный и ответственный процесс. Для его успешной реализации необходимо, чтобы вагоноремонтное предприятие было обеспечено необходимыми производственными помещениями, технологической оснасткой и оборудованием, обученным квалифицированным персоналом. Как правило, ремонт подвижного состава производится в условиях вагонных ремонтных депо или вагоноремонтных заводов.

Рассматриваемый ремонтный завод имеет в своем составе нагрузки I, II, и III категории по степени надежности электроснабжения.

В состав завода входят различные цеха, каждый выполняет свою роль, поставленную администрацией предприятия в соответствии с технологическим процессом.

Производство продукции осуществляется посменно, цеха работают в 2 смены по 9 часов.

## Содержание

Введение.....	4
1 Исходные данные .....	5
2 Расчет электрических нагрузок .....	10
3 Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок.....	25
4 Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности .....	30
5 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП.....	36
6 Построение суточного графика нагрузки.....	38
7 Выбор сечения и проверка линии, питающей ГПП.....	41
8 Выбор сечений кабельных линий 6кВ .....	43
9 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000В.....	47
10 Выбор высоковольтного оборудования .....	53
11 Расчет токов короткого замыкания до 1000В .....	58
12 Построение карты селективности действия аппаратов защиты.....	63
13 Заземление и молниезащита .....	65
13.1 Система молниезащиты производственных помещений.....	70
Заключение .....	71
Список используемых источников.....	73

## Введение

Система электроснабжения – это «совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, обеспечивающих требования технологического процесса путем подачи электроэнергии от источников питания к потребителям в необходимом количестве и требуемого качества».

Система электроснабжения предприятия должна обеспечивать удобство и безопасность обслуживания, требуемое качество электроэнергии в нормальном и послеаварийных режимах, кроме того, она должна быть экономичной.

Рассматриваемый ремонтный завод имеет в своем составе нагрузки I, II, и III категории по степени надежности электроснабжения. В состав завода входят различные цеха, каждый выполняет свою роль, поставленную администрацией предприятия в соответствии с технологическим процессом. Производство продукции осуществляется посменно, цеха работают в 2 смены по 8 часов каждая.

Цель выпускной квалификационной работы - обеспечение надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Рассчитать нагрузки предприятия.
2. Выбрать силовое электрооборудование подстанции.
3. Рассчитать токи короткого замыкания.
4. Выбрать коммутационное и защитное оборудование подстанций.

Решение поставленных задач позволит обеспечить надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей, и цель выпускной квалификационной работы будет достигнута.

## 1 Исходные данные

Основной задачей данной работы является разработка системы электроснабжения вагоноремонтного завода, генеральный план которого изображен на рисунке 1.

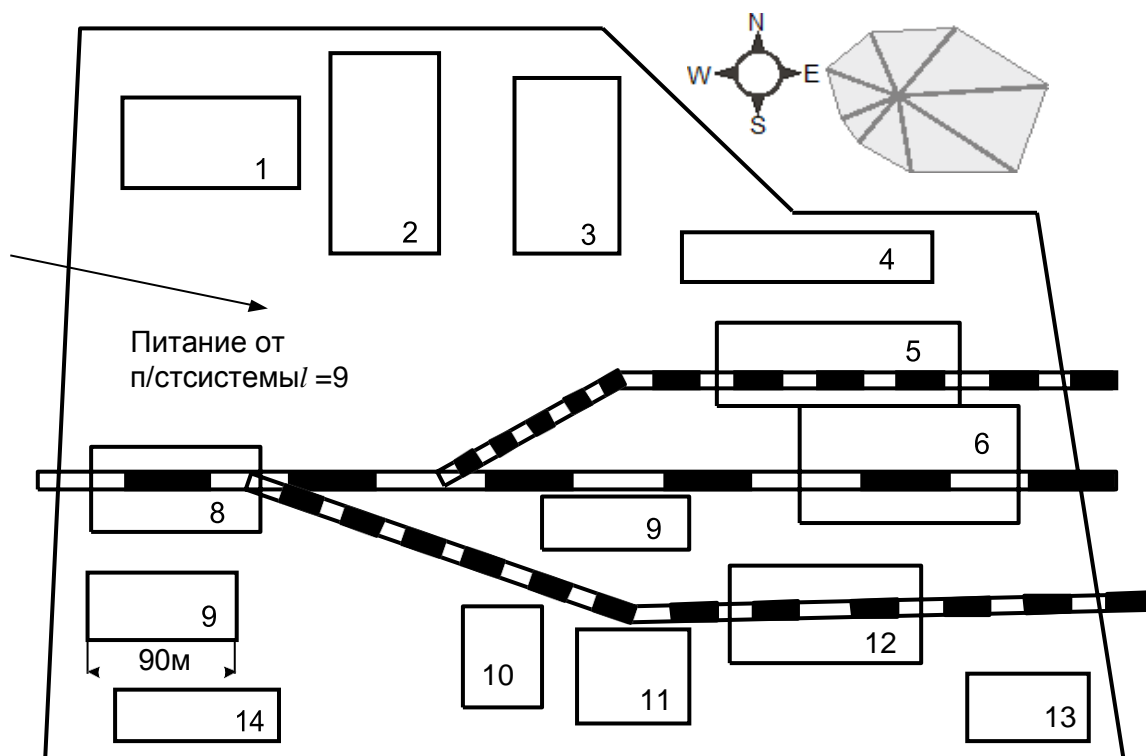


Рисунок 1 - Генеральный план вагоноремонтного завода

Завод включает в себя 14 зданий и помещений. На территории завода имеются собственные инженерные сети, коммуникации и инфраструктура для осуществления широкого спектра работ в сфере вагоностроения, вагоноремонта, металлообработки и т. п.

На текущий момент на предприятии осуществляется только плановый и текущий ремонт грузовых вагонов, формирование колесных пар и подготовка (промывка) цистерн. Ремонтные мощности предприятия превышает 5 000 вагонов в год.

Данное предприятие проводит полный комплекс ремонтных работ:

- капитальный, средний и текущий ремонт колесных пар;
- модернизация и переоборудование универсальных платформ;
- изготовление новой оси;
- формирование новой колесной пары;
- восстановление резьбовой части оси;
- изготовление и ремонт тележки двухосной;
- ремонт и испытание приборов автотормоза грузовых вагонов.

В таблице 1 приведены сведения об электрических нагрузках завода.

Таблица 1 - Сведения об электрических нагрузках завода

№	Наименование цеха		Установленная мощность, кВт
1	Пилорама		1500
2	Литейный	6 кВ	6500
		0,38кВ	2500
3	Кузнечный		350
4	Склад		160
5	Подъемный		120
6	Колесный		1100
7	Инструментальный		1600
8	Покрасочный		950
9	Деревообрабатывающий		990
10	Котельная		610
11	Компрессорный	6 кВ (СД)	510
		0,38кВ	6 5
12	Сварочный		950
13	Механический		-
14	Заготовительный		160

В таблице 2 приведена характеристика производственных помещений

Таблица 2 - Характеристика производственных помещений

№	Наименование цеха		Категория ЭП по надежности	Характеристика среды
1	Пилорама		Ш	Пожароопасная
2	Литейный	6 кВ	I	Жаркая
		0,38 кВ		
3	Кузнечный		II	Жаркая
4	Склад		Ш	Норм
5	Подъемный		II	Норм
6	Колесный		II	Норм
7	Инструментальный		Ш	Нормальная
8	Покрасочный		II	Хим. активная
9	Деревообрабатывающий		II	Пыль
10	Котельная		I	Пыль
11	Компрессорный	6 кВ (СД)	II	Норм
		0,38 кВ		
12	Сварочный		II	Взрывоопасная
13	Механический		II	Норм
16	Заготовительный		Ш	Норм

На рисунке 2 представлен план механического цеха.

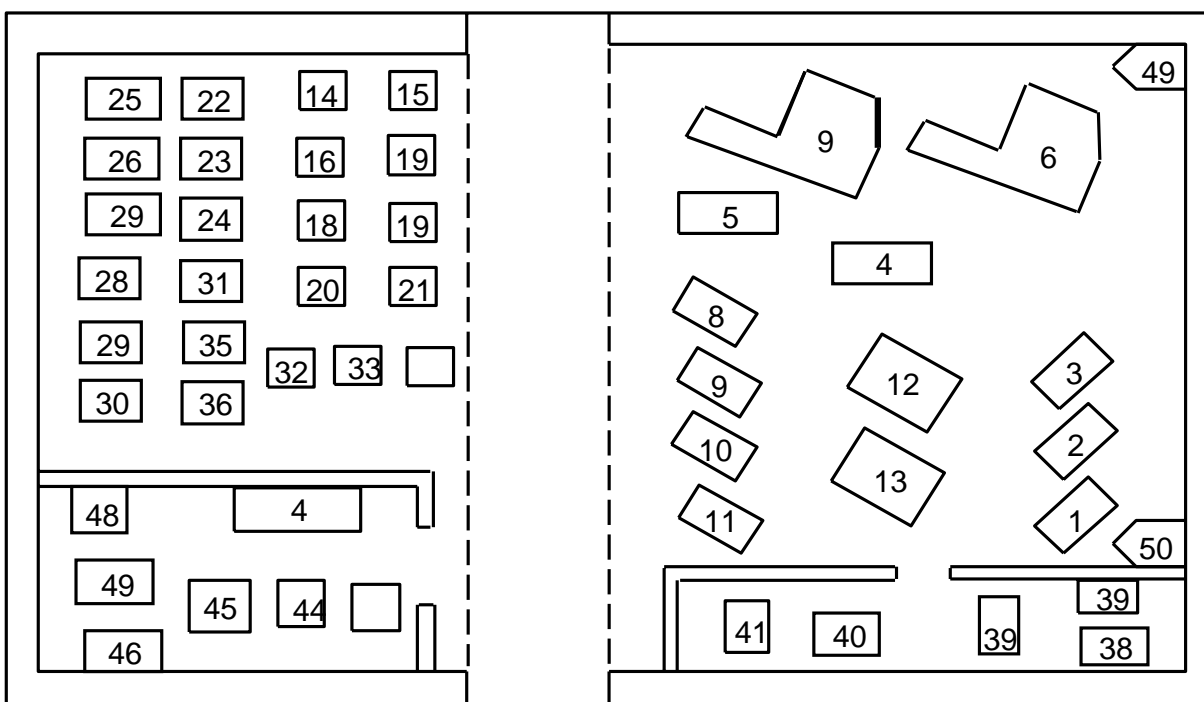


Рисунок 2 – План механического цеха

В таблице 3 представлены сведения о нагрузках механического цеха.

Таблица 3 - Сведения об электрических нагрузках механического цеха

Номер на плане	Наименование электрооборудования	$P_H$ , кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi$
1-3	Фрезерный станок	9	0,11	0,5
6, 5	Фрезерный станок с ЧПУ	20	0,6	0,9
6, 9	Универсально-фрезерный станок	11	0,11	0,5
9-11	Токарно-револьверный станок	6	0,11	0,5
12, 13	Токарно-винторезный станок	12	0,11	0,5
16-21	Настольно-сверлильный станок	6	0,11	0,5
22-26	Резьбонарезной полуавтомат	2,2	0,11	0,5
25, 26	Заточной станок	5	0,11	0,5
29	Листозагибочная машина	22	0,2	0,65
29-31	Шлифовальный станок	9	0,11	0,5
32-36	Вертикально-сверлильный станок	3	0,11	0,5



Продолжение таблицы 3

Номер на плане	Наименование электрооборудования	$P_H$ , кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi$
35, 36	Радиально-сверлильный станок	9	0,11	0,5
39, 39	Универсально-заточной станок	10	0,11	0,5
39	Плоскошлифовальный станок	19	0,16	0,6
60, 61	Полировальный станок	5	0,19	0,6
62	Сварочная машина	9	0,26	0,95
63-69	Сварочная кабина	9	0,29	0,6
69, 50	Вентиляторы	10	0,9	0,95

## 2 Расчет электрических нагрузок

Вагоноремонтный завод производит ремонт вагонов, колесных пар и модернизацию вагонов. В состав завода входят основные, заготовительные и вспомогательные цеха.

Основными цехами завода являются – подъемный, колесный, сварочный и покрасочный.

Колесный цех производит ремонт ходовой части вагонов, к которой относятся тележки, колесные пары, пружины и роликовые подшипники.

В сварочном цеху производится сборка вагонов, сварочные и газорезочные работы.

В покрасочном цеху осуществляется мойка вагонов и ходовых частей, покраска вагонов, а также их составных частей.

К заготовительным и обрабатывающим цехам относятся – литейный, кузнечный, деревообрабатывающий, механический и заготовительный.

В литейном цеху осуществляется производство различных отливок.

Кузнечный цех изготавливает заготовки методом свободной ковки и детали методом холодной и горячей штамповки.

В механическом цехе происходит обработка деталей после их изготовления в литейном и кузнечном цехах.

В заготовительном цехе производится раскрой и резка металла.

Деревообрабатывающий цех предназначен для обработки древесины. Основная продукция цеха – бруски для платформ цистерн, дверные и оконные блоки.

Вспомогательные цеха - это пилорама, компрессорный и инструментальные цеха, склад и котельная.

Инструментальный цех осуществляет ремонт и изготовление инструментов и приспособлений.

Котельная предназначена для отопления цехов и подачи горячей воды.

### Определение схемы электроснабжения цеха

Для проведения расчета электрических нагрузок цеха выбираем радиальную схему электроснабжения цеха.

Достоинствами радиальной схемы являются: высокая надежность; удобство эксплуатации; легко применимы устройства автоматики.

Основные недостатки данной схемы - высокая стоимость и трудности при реконструкции сети. Схема электроснабжения механического цеха приведена на рисунке 3.

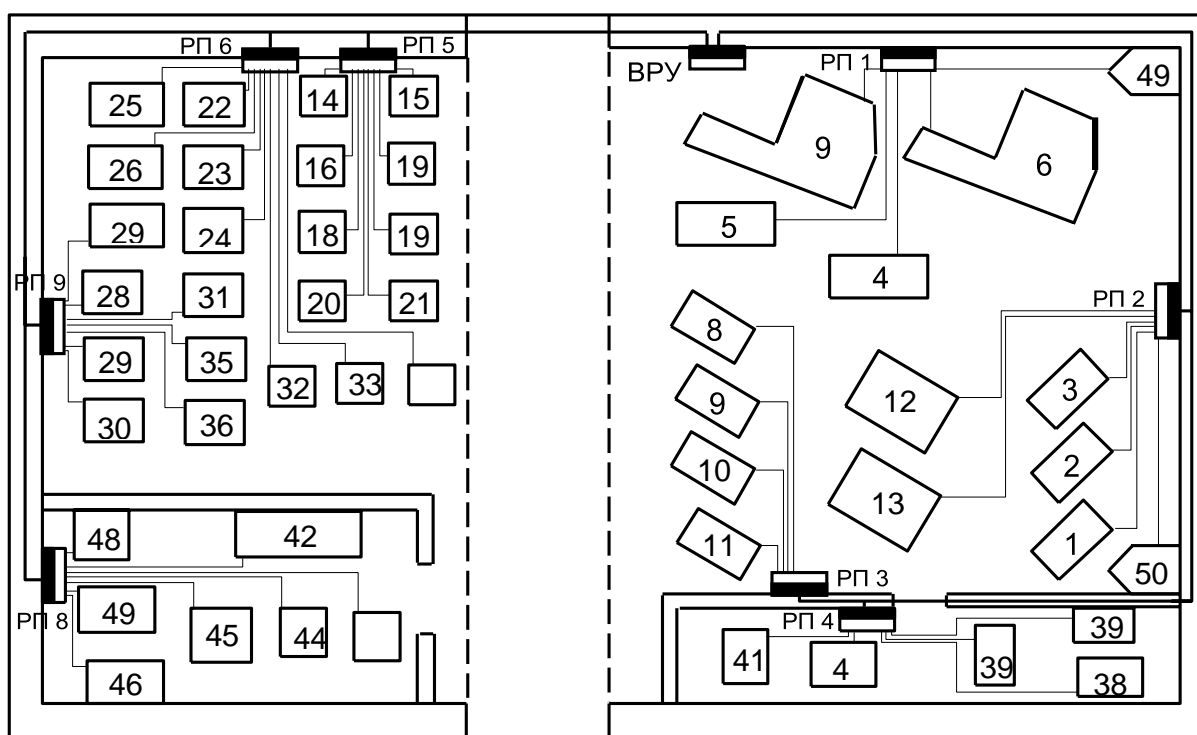


Рисунок 3 - Схема электроснабжения механического цеха

Определим расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{56,44}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 95,95 \text{ А.}$$

Расчет осветительной нагрузки механического цеха. Номинальная активная мощность осветительной нагрузки:

$$P = 16 \cdot 10^{-3} \cdot 1956,96 = 26,69 \text{ кВт,}$$

Результаты расчета электрических нагрузок механического цеха приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Результаты расчета нагрузок механического цеха

Исходные данные				Расчетные величины					n э	K <sub>p</sub>	Расчетная мощность			I <sub>p</sub> , А
по заданию технологов			по справочным данным		k <sub>и</sub> ·p <sub>н</sub>	k <sub>и</sub> ·p <sub>н</sub> ·t gφ	np <sup>2</sup> <sub>н</sub>	P <sub>p</sub> , кВт			Q <sub>p</sub> , кВар	S <sub>p</sub> , кВА		
Наименование ЭП	n, шт	Номинальная мощность, кВт		k <sub>и</sub>					cosφ/tgφ					
		p <sub>н</sub>	P <sub>н</sub>											
1	2	3	6	5	6	9	9	9	10	11	12	13	16	15
<b>РП1</b>														
Фрезерный станок с ЧПУ	2	20	60	0,6	0,9/1,02	26	26,69	900						
Универсально-фрезерный станок	2	11	22	0,11	0,5/1,93	2,66	6,59	262						
Вентилятор	1	20	20	0,9	0,95/0,6 2	9	6,96	100						
<b>Итого по РП1:</b>	<b>5</b>		<b>92</b>	<b>0,66</b>		<b>33,65</b>	<b>32,11</b>	<b>1212</b>	<b>5</b>	<b>1,25</b>	<b>61,29</b>	<b>35,63</b>	<b>66,26</b>	<b>95,65</b>
<b>РП2</b>														
Вертикально-фрезерный станок	3	9	26	0,12	0,5/1,93	2,99	6,99	192						
Токарно-винторезный станок	2	12	26	0,12	0,5/1,93	2,99	6,99	299						
Вентилятор	1	10	10	0,6	0,95/0,6 2	9	6,96	120						
<b>Итого по РП2:</b>	<b>6</b>		<b>59</b>	<b>0,25</b>		<b>13,96</b>	<b>16,92</b>	<b>595</b>	<b>5</b>	<b>1,59</b>	<b>21,6</b>	<b>16,6</b>	<b>29,13</b>	<b>61,2</b>
<b>РП3</b>														
Токарно-револьверный	6	6	26	0,12	0,5/1,93	2,92	6,96	165						
<b>Итого по РП3:</b>	<b>6</b>		<b>26</b>	<b>0,12</b>		<b>2,92</b>	<b>6,96</b>	<b>165</b>	<b>6</b>	<b>2,99</b>	<b>9,29</b>	<b>5,69</b>	<b>9,99</b>	<b>15,2</b>

Продолжение таблицы 4

1	2	3	6	5	6	9	9	9	10	11	12	13	14	15
<b>РП6</b>														
Универсально-заточной станок	2	10	20	0,11	0,5/1,93	2,6	6,15	200						
Плоскошлифовальный станок	1	19	19	0,16	0,5/1,93	2,66	6,6	361						
Полировальный станок	2	5	10	0,11	0,5/1,93	1,2	2,09	50						
<b>Итого по РП6:</b>	<b>5</b>		<b>69</b>	<b>0,119</b>		<b>6,26</b>	<b>10,93</b>	<b>611</b>	<b>3</b>	<b>3,6</b>	<b>21,29</b>	<b>11,9</b>	<b>26,39</b>	<b>39,1</b>
<b>РП5</b>														
Настольно-сверлильный станок	9	6	69	0	0,5/1,93	5,96	9,96	299						
<b>Итого по РП5:</b>	<b>9</b>		<b>69</b>	<b>0,11</b>		<b>5,96</b>	<b>9,96</b>	<b>299</b>	<b>9</b>	<b>2,13</b>	<b>12,29</b>	<b>10,96</b>	<b>16,65</b>	<b>26,9</b>
<b>РП6</b>														
Резьбонарезной полуавтомат	3	2,2	6,6	0,11	0,5/1,93	0,99	1,39	16,5 2						
Заточной станок	2	5	10	0,11	0,5/1,93	1,2	2,09	50						
Вертикально-сверлильный станок	3	3	9	0,11	0,5/1,93	1,09	1,99	29						
<b>Итого по РП6:</b>	<b>9</b>		<b>25,6</b>	<b>0,11</b>		<b>3,09</b>	<b>5,36</b>	<b>91,5</b>	<b>9</b>	<b>2,26</b>	<b>6,99</b>	<b>5,99</b>	<b>9,06</b>	<b>13,9</b>
<b>РП9</b>														
Листозагибочная машина	1	22	22	0,2	0,65/1,19	6,6	5,15	696						
Точильно-шлифовальный станок	6	9	29	0,11	0,5/1,93	3,36	5,9	196						
Радиально-сверлильный станок	2	9	19	0,11	0,5/1,93	2,16	3,96	162						
<b>Итого по РП9:</b>	<b>9</b>		<b>69</b>	<b>0,166</b>		<b>9,92</b>	<b>16,69</b>	<b>962</b>	<b>5</b>	<b>2,15</b>	<b>21,33</b>	<b>16,16</b>	<b>26,96</b>	<b>60,66</b>

Продолжение таблицы 4

1	2	3	6	5	6	9	9	9	10	11	12	13	16	15
<b>РП9</b>														
Сварочная машина	1	9	9	0,2	0,9/1,02	1,9	1,96	91						
Сварочная кабина	6	9	69	0,25	0,6/1,33	12	15,96	396						
<b>Итого по РП9:</b>	<b>9</b>		<b>59</b>	<b>0,26</b>		<b>13,9</b>	<b>19,9</b>	<b>665</b>	<b>9</b>	<b>1,62</b>	<b>19,6</b>	<b>19,59</b>	<b>29,9</b>	<b>62,1</b>
<b>ВРУ</b>														
РП1	5	10-20	92			36,66	36,01	1162						
РП2	6	9-12	59			13,96	16,92	590						
РП3	6	6	26			2,99	6,99	166						
РП6	5	5-19	69			6,26	10,93	611						
РП5	9	6	69			5,96	9,96	299						
РП6	9	2,2-5	25,6			3,09	5,36	91,5						
РП8	9	9-22	69			9,92	16,69	962						
РП9	9	9-9	59			13,9	19,9	665						
<b>Итого по ВРУ:</b>	<b>50</b>	<b>2,2-22</b>	<b>601,6</b>	<b>0,22</b>		<b>90,1</b>	<b>112,5</b>	<b>6163,5</b>	<b>39</b>	<b>0,95</b>	<b>69,59</b>	<b>112,5</b>	<b>131,26</b>	<b>199,6</b>
Осветительная нагрузка			29,69	$K_{co} = 0,95$							29,2	-		
<b>Итого по ВРУ:</b>			<b>631,29</b>								<b>95,99</b>	<b>112,5</b>	<b>169,95</b>	<b>226,5</b>

### Определение расчетной нагрузки предприятия

В составе предприятия имеются цеха с высоковольтным оборудованием – это компрессорный и литейный цеха. В них будут установлены синхронные двигатели, паспортные данные которых представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Паспортные данные СД

Название цеха	Номер цеха на генплане	Марка двигателя	Номинальная мощность $P_{ном}$ , кВт	Кол-во двигателей, шт
Литейный	2	СДС3-19-69-12УХЛ6	2500	2
Компрессорный	11	СДК2-16-36-12КУ6	500	1

#### Расчет силовой и осветительной нагрузок цехов.

Расчетная силовая нагрузка цеха определяется по методу коэффициента спроса, расчет произведем на примере кузнечного цеха.

Расчетную активную силовую нагрузку кузнечного цеха определим по формуле:

$$P_p = K_C \cdot P_H = 0,65 \cdot 350 = 159,5 \text{ кВт.}$$

Расчетную реактивную силовую нагрузку кузнечного цеха определим по формуле:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 159,5 \cdot 0,99 = 139,6 \text{ кВар.}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.

Расчетная осветительная нагрузка:

$$P_{PO} = K_{CO} \cdot P_{HO} = 0,95 \cdot 69,16 = 63,91 \text{ кВт,}$$

Расчетная активная нагрузка кузнечного цеха:

$$P_p + P_{pO} = 159,5 + 63,91 = 221,31 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка равна расчетной силовой нагрузке цеха:

$$Q_p = P_p \cdot \tan \phi = 159,5 \cdot 0,6 = 95,7 \text{ кВар.}$$

Полная расчетная нагрузка кузнечного цеха:

$$S_p = \sqrt{221,31^2 + 95,7^2} = 241,12 \text{ кВА.}$$

Суммарная расчетная нагрузка предприятия на стороне НН:

$$S = \sqrt{(\sum P_p^H + \sum P_{pO})^2 + (\sum Q_p^H)^2} =$$

$$= \sqrt{(4889,58 + 663,8)^2 + 3962,69^2} = 6922,26 \text{ кВА.}$$

Суммарная расчетная нагрузки предприятия на шинах 6 кВ ГПП.

Приближенные потери активной и реактивной мощности в трансформаторах ТП:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 6922,26 = 136,6 \text{ кВт;}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 6922,26 = 692,22 \text{ кВар.}$$

Приближенные потери активной мощности в высоковольтных линиях:

$$\Delta P_L = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 6922,26 = 206,69 \text{ кВт.}$$

Суммарная расчетная активная мощность, отнесенная к шинам 6 кВ ГПП:

$$P_{P\Sigma} = (\sum P_p^H + \sum P_{pO}) \cdot K + P_{p.M(a)} + \Delta P_T + \Delta P_L =$$

$$= (6999,59 + 3655) \cdot 0,95 + 663,9 + 136,6 + 206,69 = 9122,2 \text{ кВт,}$$



Расчетная нагрузка предприятия на шинах 6 кВ ГПП:

$$S_{P\Sigma} = \sqrt{(P_{P\Sigma})^2 + (Q_{P\Sigma})^2} = \sqrt{9122,2^2 + 4248,6^2} = 10063,1 \text{ кВА.}$$

Полная расчетная нагрузка предприятия со стороны ВН ГПП.

Потери мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{mГПП} = 0,02 \cdot S_{P\Sigma} = 0,02 \cdot 10063,1 = 201,3 \text{ кВт;}$$

$$\Delta Q_{mГПП} = 0,1 \cdot S_{P\Sigma} = 0,1 \cdot 10063,1 = 1006,3 \text{ кВар.}$$

В данном случае, целесообразно использовать напряжение 110 кВ.

Также определим напряжение питающей линии по формуле Илларионова;

$$U_{\text{эк}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l} + \frac{2500}{P_{P\Sigma}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{9} + \frac{2500}{9,122}}} = 59,9 \text{ кВ.}$$

На основании рекомендаций [2, стр. 136], расчета напряжения линии, питающей ГПП, по формуле Илларионова, а также учитывая развитие завода в дальнейшем, принимаем напряжение питающей линии ГПП 110 кВ.

Реактивная мощность, передаваемая предприятию из сети энергосистемы:

$$Q_C = \alpha \cdot P_{P\Sigma} = 0,29 \cdot 9122,2 = 2665,6 \text{ кВар.}$$

Мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{KV} = Q_{P\Sigma} - Q_C = 6269,6 - 2665,6 = 3604,0 \text{ кВар.}$$

Полная мощность предприятия со стороны 110 кВ ГПП:

$$S_{rГПП} = \sqrt{(P_{P\Sigma} + \Delta P_{mГПП})^2 + (Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{mГПП} - Q_{KV})^2} = \sqrt{(9122,2 + 201,3)^2 + (4248,6 + 1006,3 - 3604,0)^2} = 10013,1 \text{ кВА}$$

Результаты расчета силовой нагрузки предприятия сведены в таблицу 6.

Результаты расчета осветительной и общей нагрузки предприятия сведены в таблицу 7.

Таблица 6 - Результаты расчета силовой нагрузки предприятия

№	Наименование цеха	Силовая					
		$P_n$	$K_c$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p$	$Q_p$
		кВт				кВт	кВар
<b>Потребители электроэнергии 0,39</b>							
1	Пилорама	1600	0,35	0,9	1,02	690	699,9
2	Литейный	2500	0,95	0,9	0,69	1995	900
3	Кузнечный	350	0,65	0,95	0,99	159,5	139,6
4	Склад	150	0,3	0,5	1,93	65	99,95
5	Подъемный	110	0,65	0,95	0,99	91,5	62,92
6	Колесный	1100	0,5	0,95	0,99	550	696
7	Инструментальный	1200	0,3	0,9	1,02	360	369,2
8	Покрасочный	650	0,5	0,9	1,02	325	331,5
9	Деревообрабатывающий	690	0,35	0,9	1,02	236,5	239,19
10	Котельная	510	0,6	0,9	0,95	306	229,5
11	Компрессорный	55	0,5	0,9	0,95	29,5	20,625
12	Сварочный	950	0,6	0,6	1,33	360	652,2
13	Механический	601,6	-	-	-	69,59	112,5
14	Заготовительный	100	0,6	0,65	1,19	60	66,9
	<b>Итого по 0,39кВ</b>	<b>10066,6</b>				<b>6999,59</b>	<b>3962,69</b>
<b>Потребители электроэнергии 6 кВ</b>							
1	Литейный	6600	0,95	1	0	3650	0
2	Компрессорный	610	0,5	1	0	205	0
	<b>Итого по 6 кВ</b>	<b>5010</b>				<b>3655</b>	<b>0</b>
	<b>Итого по предприятию</b>	<b>15056,6</b>				<b>9566,59</b>	<b>3962,69</b>

Таблица 7 - Результаты расчета осветительной и общей нагрузки предприятия

№	Наименование цеха	Осветительная нагрузка					Силовая и осветительная нагрузка		
		$F$	$P_{уд}$	$P_{но}$	$K_{со}$	$P_{ро}$	$P_p+P_{ро}$	$Q_p$	$S_p$
		м <sup>2</sup>	Вт/ м <sup>2</sup>	кВт		кВт	кВт	кВар	кВА
<b>Потребители электроэнергии 0,39</b>									
1	Пилорама	3669,93	15	56,93	0,95	66,52	536,52	699,9	933,25
2	Литейный	6929,6	19	99,93	0,95	96,29	1959,29	900	2156,11
3	Кузнечный	6199,9	16	69,16	0,95	63,91	221,31	139,6	261,12
4	Склад	2923,9	13	36,91	0,6	22,03	69,03	99,95	102,93
5	Подъемный	6639,66	15	69,56	0,95	59,1	130,6	62,92	166,99
6	Колесный	5919,9	16	91,69	0,95	96,91	636,91	696	999,96
7	Инструментальный	1959,6	16	29,16	0,95	26,93	396,93	369,2	533,29
8	Покрасочный	3266,6	19	59,66	0,95	55,51	390,51	331,5	506,66
9	Деревообрабатывающ й	2299,1	19	39,96	0,95	36,91	291,31	239,19	361,69
10	Котельная	1929,6	19	31,09	0,95	29,53	335,53	229,5	606,51
11	Компрессорный	2396,5	13	30,99	0,95	26,26	53,96	20,625	59,56
12	Сварочный	6226,9	15	63,60	0,95	53,99	393,99	652,2	599,90
13	Механический	1956,96	-	-	-	29,20	95,99	112,5	169,95
14	Заготовительный	1993,2	15	29,60	0,95	26,99	66,99	66,9	91,91
	Освещение территории	109966,9	0,16	19,26	1	19,26	19,26	0	26,5
	<b>Итого по 0,39кВ</b>	<b>153166,1</b>				<b>663,9</b>	<b>5553,39</b>	<b>3962,69</b>	<b>6922,26</b>

Продолжение таблицы 7

<b>Потребители электроэнергии 6 кВ</b>									
1	Литейный (СД 6 кВ)						3650	0	3650
2	Компрессорный						205	0	205
	<b>Итого по 6 кВ</b>						<b>3655</b>	<b>0</b>	<b>3655</b>
	<b>Итого по предприятию</b>						<b>9209,39</b>	<b>3962,69</b>	<b>10026,9</b>

### 3 Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок

Картограмма нагрузок – это размещенные на генеральном плане предприятия площади, которые в определенном масштабе соответствуют расчетным нагрузкам цехов.

*Произведем расчет для литейного цеха.*

Для определения радиусов окружностей, зададим масштаб для низковольтной ( $m = 1 \text{ кВт/мм}^2$ ) и высоковольтной ( $m = 2 \text{ кВт/мм}^2$ ) нагрузок.

Рассчитаем радиусы окружностей:

$$r_{\text{НН}} = \sqrt{\frac{P_P}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{1895}{\pi \cdot 1}} = 26,63 \text{ мм};$$
$$r_{\text{ВН}} = \sqrt{\frac{P_P}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{3450}{\pi \cdot 2}} = 23,63 \text{ мм}.$$

Также в окружности определим сектор, который будет характеризовать долю осветительной нагрузки цеха:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{PO}}{P_P + P_{PO}} = \frac{360 \cdot 96,29}{1995 + 96,29} = 15,69 \text{ град.}$$

Для остальных цехов расчет аналогичен, результаты расчетов представлены в таблице 8.

Определим координаты условного центра электрических нагрузок:

$$x_0 = \frac{\sum((P_P + P_{PO}) \cdot x)}{\sum(P_P + P_{PO})} = \frac{639566,69}{9191,13} = 69,92 \text{ мм};$$
$$y_0 = \frac{\sum((P_P + P_{PO}) \cdot y)}{\sum(P_P + P_{PO})} = \frac{616693,1}{9191,13} = 65,1 \text{ мм}.$$

Картограмма нагрузок представлена на рисунке 3.1.

Как видно из картограммы, сооружение ГПП в месте расположения ЦЭН невозможно, поэтому построим зону рассеяния ЦЭН.

$$P(x)=P(y)= \frac{P_P+P_{PO}}{\Sigma(P_P+P_{PO})} = \frac{536,52}{9191,13} = 0,06.$$

$$\sigma_x = \Sigma P(x) \cdot (x-x_0) = 1926,69 \text{ мм}; \quad 2$$

$$\sigma_y^2 = \Sigma P(y) \cdot (y-y_0)^2 = 3069,32 \text{ мм}^2.$$

Определим точность случайных величин:

$$h_x = \frac{1 \text{ мм}}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1926,49 \cdot 2}} = \frac{1}{\dots}$$

$$h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{3049,32 \cdot 2}} = \frac{1}{\dots}$$

Для остальных цехов результаты расчетов в таблицах 8 и 9.

Определим радиусы полуосей эллипса рассеяния:

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,016} = 109,25 \text{ мм};$$

$$R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0129} = 135,3 \text{ мм}.$$

На картограмме зона рассеяния будет построена в масштабе 1:2.

Таблица 8 - Расчетные данные для построения картограммы нагрузки

№	Наименование цеха	$P_p$ , кВт	$P_{po}$ , кВт	$r$ , мм	$\alpha$ , град	$X$ , мм	$Y$ , мм
<b>Потребители электроэнергии 0,38кВ</b>							
1	Пилорама	690	66,52	12,69	31,21	29,9	113,2
2	Литейный	1995	96,29	26,63	15,69	60,5	110,9
3	Кузнечный	159,5	63,91	9,09	103,90	92,9	109,2
4	Склад	65	22,03	3,99	119,32	135	92,3
5	Подъемный	91,5	59,1	6,99	162,91	160,9	92,6
6	Колесный	550	96,91	13,23	69,12	153,2	56,2
7	Инструментальный	360	26,93	10,90	26,99	101,2	63,3
8	Покрасочный	325	55,51	10,19	52,52	23,65	69,6
9	Деревообрабатывающий	236,5	36,91	9,66	69,96	21	29,9
10	Котельная	306	29,53	9,99	31,69	91,2	19,6
11	Компрессорный	29,5	26,26	2,96	195,99	106,6	15,1
12	Сварочный	360	53,99	10,60	69,25	139,3	26,5
13	Механический	69,59	29,20	6,66	105,99	196,1	9,5
14	Заготовительный	60	26,99	3,59	165,01	29,1	9,9
	<b>Итого по 0,38кВ</b>	<b>6999,59</b>	<b>666,55</b>				

<b>Потребители электроэнергии 6 кВ</b>							
1	Литейный	3650	-	23,63		60,5	110,9
2	Компрессорный	205	-	5,91		106,6	15,1
	<b>Итого по 6 кВ</b>	<b>3655</b>	-				
	<b>Итого по предприятию</b>	<b>9566,59</b>	<b>666,55</b>				



Таблица 9 - Расчетные данные для построения картограммы нагрузки

Номер цеха на плане	$P_p$ , кВт	$P_{po}$ , кВт	$X$ , мм	$Y$ , мм	$(P_p+P_{po}) \cdot X$	$(P_p+P_{po}) \cdot Y$	$\frac{P_x}{P_y}$	$(X-m_x)^2$	$(Y-m_y)^2$	$P_x \cdot (X - m_x)^2$	$P_y \cdot (Y - m_y)^2$
1	690	66,52	29,9	113,2	15936,66	60936,06	0,06	329,33	6639,61	19,19	290,91
2	1995	96,29	60,5	110,9	119539	219295,3	0,21	160,99	6329,66	36,29	922,96
3	159,5	63,91	92,9	109,2	20515,66	26169,05	0,02	2016,21	6109,91	69,50	99,93
6	65	22,03	135	92,3	9069,05	6196,96	0,01	9600,35	2229,96	55,63	16,25
5	91,5	59,1	160,9	92,6	19395,62	9691,56	0,01	9626,69	956,25	122,59	10,95
6	550	96,91	153,2	56,2	99596,61	36520,52	0,09	11106,96	92,91	969,53	5,96
7	360	26,93	101,2	63,3	39139,09	16965,61	0,06	2969,62	3,26	119,99	0,16
8	325	55,51	23,6	69,6	9922,96	19993,3	0,06	593,90	20,25	26,59	0,96
9	236,5	36,91	21	29,9	5699,51	9569,56	0,03	919,31	295,96	21,23	9,93
10	306	29,53	91,2	19,6	29265,06	6260,95	0,06	1116,22	902,25	60,69	25,66
11	29,5	26,26	106,6	15,1	5610,65	911,696	0,01	3201,30	900,00	19,92	5,26
12	360	53,99	139,3	26,5	56696,99	10639,09	0,06	9196,63	365,96	350,96	16,93
13	69,59	29,20	196,1	9,5	16695,3	909,91	0,01	15966,66	1269,36	166,19	13,21

14	60	26,99	29,1	9,9	1915,15 9	529,162	0,0 1	629,32	1393, 96	3,13	10,09
<b>Итого по 0,38кВ</b>	<b>6999,5 9</b>	<b>666,5 5</b>			<b>639566, 69</b>	<b>616693, 1</b>				<b>1996,9 3</b>	<b>1606,0 6</b>
1	3650		60,5	110 ,9	209925	392605	0,3 9	160,99	6329, 66	60,35	1625,1 9
2	205		106, 6	15, 1	21602	3095,5	0,0 2	3201,3	900	91,60	20,09
<b>Итого по6 кВ</b>	<b>3655</b>				<b>230129</b>	<b>395900, 5</b>				<b>131,95</b>	<b>1665,2 6</b>
<b>Итого по предприятию</b>	<b>9566,5 9</b>	<b>666,5 5</b>			<b>669691, 69</b>	<b>900193, 551</b>				<b>1926,6 9</b>	<b>3069,3 2</b>

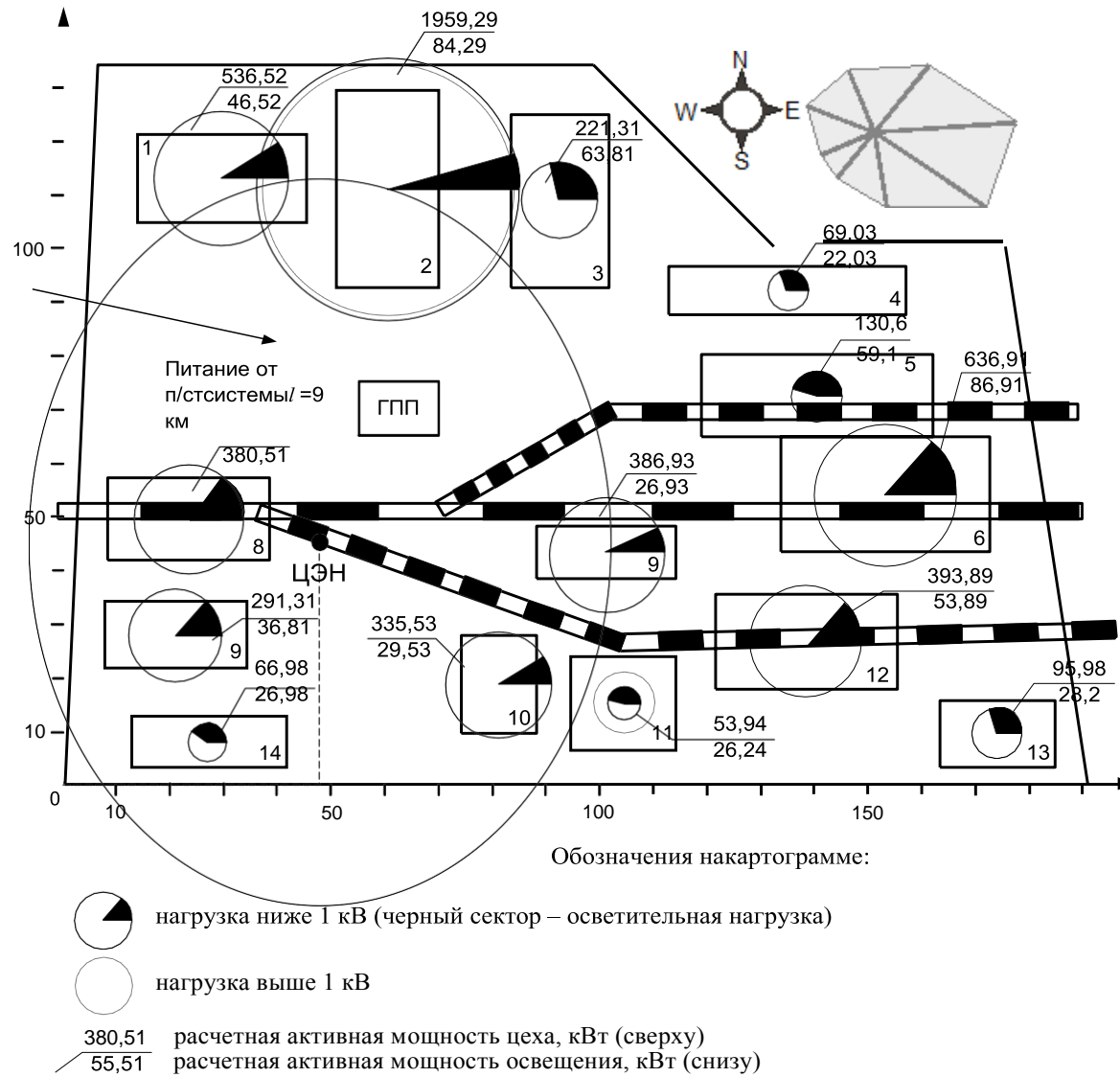


Рисунок4 - Картограмма нагрузок предприятия

#### 4Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

Воспользуемся следующей формулой:

$$o = \frac{S_{расч.НН}}{\sum F_{ц}} = \frac{6922,26}{65619,6} = 0,15 \text{ кВА/м}^2,$$

В соответствии с рекомендациями [2, табл. 10] для данной плотности нагрузки рекомендуется использовать цеховые ТР мощностью 1000 кВА.

Минимальное возможное число трансформаторов:

$$N_{\min} = \frac{P_{расч.НН}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{5553,39}{0,9 \cdot 1000} = 9,93,$$

$\beta$  - коэффициент загрузки трансформатора.

Г  
Д  
е

Принимаем  $N_{\min} = 9$ .

$$N_{\min} = \frac{P_{расч.НН}}{P_1} = \frac{5553,39}{9} = 696,2 \text{ кВт.}$$

число трансформаторов для цеха:

$$N_i = \frac{P_{расч.i}}{P_1}$$

Г  
Д  
е

$i$  - расчетная мощность  $i$ -го цеха.

Результаты расчетов приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Количество трансформаторов в цехах

№ цеха	Категория надежности	$P_{p+} P_{po}$	$N$
1	III	536,52	0,99
2	I	1959,29	2,92
3	II	221,31	0,32
6	III	69,03	0,10
5	II	130,6	0,19
6	II	636,91	0,92
9	III	396,93	0,56
9	II	390,51	0,55
9	II	291,31	0,39
10	I	335,53	0,69
11	II	53,96	0,09
12	II	393,99	0,59
13	II	95,99	0,16
16	III	66,99	0,10

Из таблицы 10 видно, что двух трансформаторная ТП с  $S_{ном.тр} = 1000$  кВА не способна обеспечить требуемый коэффициент загрузки трансформаторов для литейного цеха (I категория по надежности электроснабжения).

Рассмотрим другие варианты.

Выбираем трансформаторы с  $S_{ном.тр} = 1600$  кВА.

Число трансформаторов:

$$N_{\min} = \frac{P_{расч.НН}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{5553,39}{0,9 \cdot 1600} = 6,96 \approx 5.$$

Данный вариант нерациональный, так как нагрузка по территории предприятия распределена неравномерно.

Минимально возможное число трансформаторов с  $S_{ном.тр} = 2500$  кВА для цехов № 1, 2, 3, 6:

$$N_{min}^{2500} = \frac{S_{расч.НН}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{3253,2}{0,9 \cdot 2500} = 1,96 \approx 2.$$

Минимально возможное число трансформаторов с  $S_{ном.тр} = 630$  кВА для цехов № 5-16:

$$N_{min}^{630} = \frac{S_{расч.НН}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{3639,99}{0,9 \cdot 630} = 9,96 \approx 9.$$

Паспортные данные трансформаторов приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Паспортные данные трансформаторов

Тип	$S_{ном}$ , кВА	$J_{ном}$ обмоток, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %
		ВН	НН		ХХ	КЗ		
ТМ-2500/6	2500	6	0,6	$\Delta/Y_0 - 11$	3,95	23,5	6,5	1,0
ТМ- 630/6	630	6	0,6	$\Delta/Y_0 - 11$	1,31	9,5	5,5	2,0

Распределим нагрузки цехов по ТП. Распределение в таблице 12.

Таблица 12 - Распределение цехов по ТП

Наименование пункта питания	Цеха	Количество трансформаторов
ТП-1	1, 2, 3, 6	2
ТП-2	5, 6	2
ТП-3	9, 11, 12, 13	2
ТП-6	9, 10	2
ТП-5	9, 9, 16	2

Найдем наибольшую реактивную мощность, в режиме максимальных активных нагрузок:

$$Q_C = \alpha \cdot P_{P\Sigma} = 0,29 \cdot 9122,2 = 2665,6 \text{ кВар.}$$

Анализ баланса реактивной мощности на шинах ГПП:

$$Q_{\text{расч.НН}} = 3962,69 \text{ кВар} > Q_C = 2665,6 \text{ кВар.}$$

По балансу реактивной мощности на шинах ГПП видно, что необходимо использовать батареи статических конденсаторов и/или синхронные двигатели, установленные на предприятии.

Реактивная мощность, которую можно получить с СДК2-16-36-12КУ6 в режиме его номинальной загрузки:

$$Q_{\text{СД1}} = \frac{\alpha_M \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg} \varphi}{\eta_{\text{ном}}} = \frac{1,33 \cdot 500 \cdot 0,69}{0,939} = 360 \text{ кВар,}$$

где  $\alpha_M$  - коэффициент допустимой перегрузки СД по [2, табл.4.9].

Реактивная мощность, которую можно получить с СДС33-19-69-12УХЛ6 в режиме их номинальной загрузки:

$$Q_{\text{СД2}} = Q_{\text{СД2}} = \frac{\alpha_M \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg} \varphi}{\eta_{\text{ном}}} = \frac{1,33 \cdot 2500 \cdot 0,69}{0,96} = 1625 \text{ кВар.}$$

Полная располагаемая мощность генерации:

$$Q_{\text{СД}} = Q_{\text{СД1}} + Q_{\text{СД2}} + Q_{\text{СД3}} = 360 + 1625 + 1625 = 3590 \text{ кВар.}$$

Наибольшая реактивная мощность, которая может быть передана из сети 6 кВ в сеть до 1000 В без увеличения числа трансформаторов:

$$Q_1 = \sqrt{\left( N_{\text{min1}} \cdot \beta_{\text{тр1}} \cdot S_{\text{ном.тр1}} + N_{\text{min2}} \cdot \beta_{\text{тр2}} \cdot S_{\text{ном.тр2}} \right)^2 - P_{\text{расч.НН}}^2} =$$

$$\sqrt{\left( 2 \cdot 0,9 \cdot 2500 + 8 \cdot 0,9 \cdot 630 \right)^2 - 5553,38^2} = 6309,3 \text{ кВар.}$$

Схема для анализа баланса реактивной мощности представлена на рисунке 5.

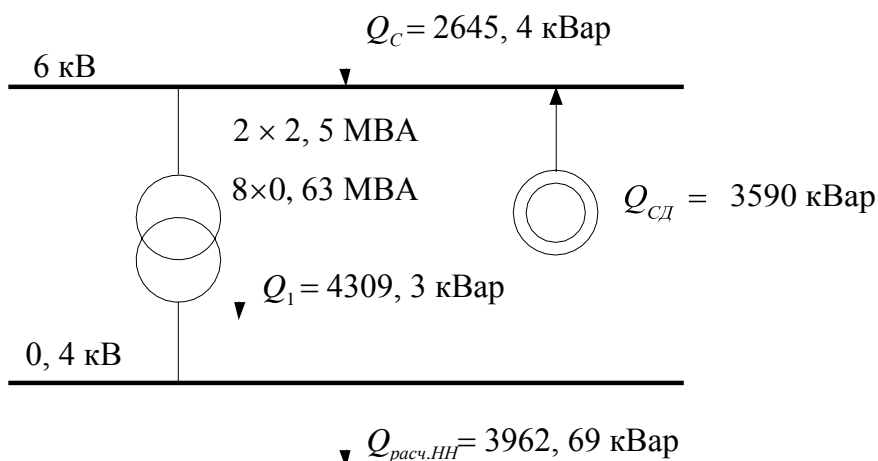


Рисунок 5 - Схема для анализа баланса реактивной мощности

Как видно по рисунку 5 пропускной способности трансформаторов для покрытия реактивной мощности нагрузки достаточно.

Определим фактическую загрузку цеховых ТП. Пример для ТП-1:

$$\beta_{тр.факт} = \frac{S_{расч}}{N \cdot S_{ном.тр}} = \frac{3253,21}{2 \cdot 2500} = 0,65.$$

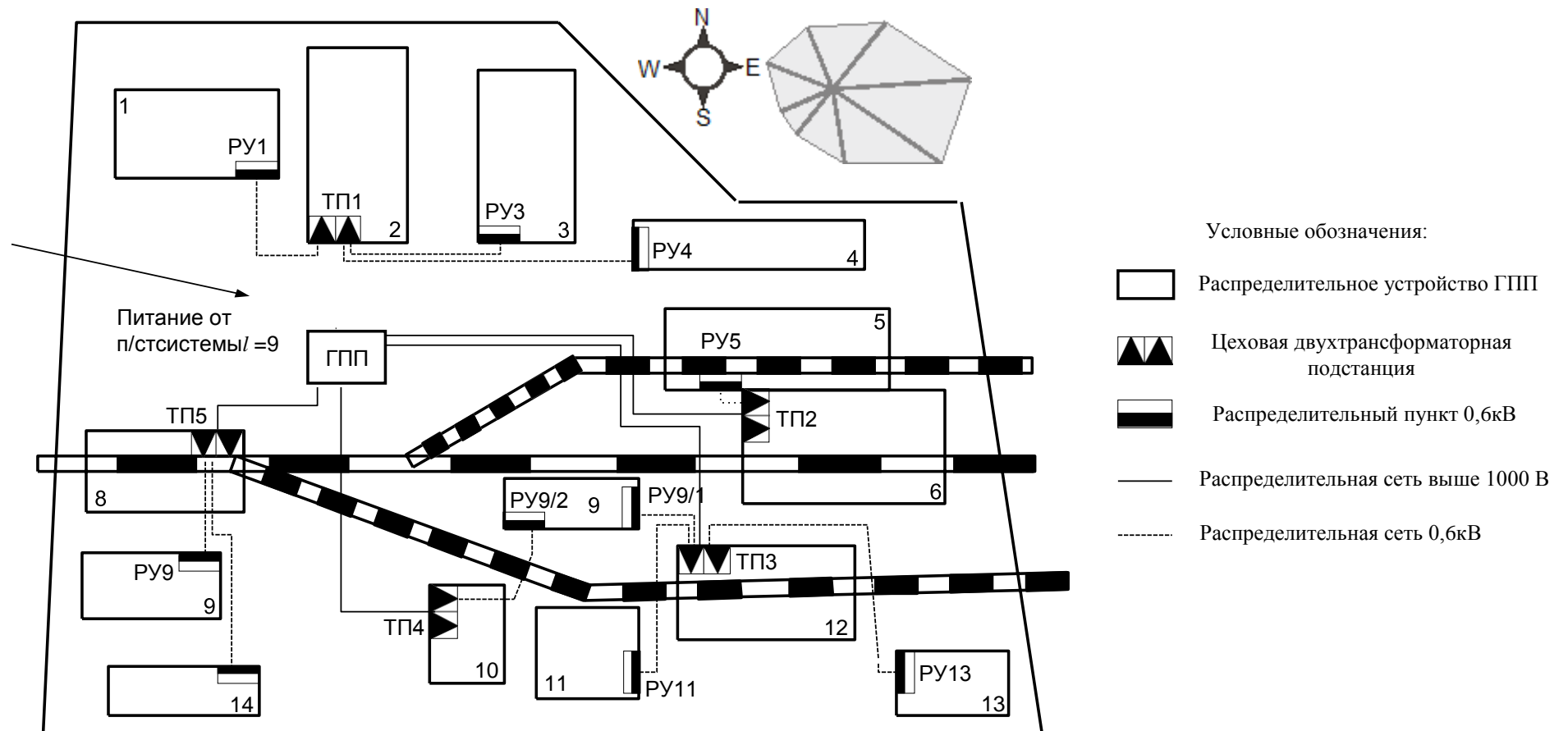
Расчеты для остальных ТП аналогичны, результаты расчетов сведены в таблицу 13.

Таблица 13 - Фактическая загрузка цеховых ТП

№ ТП	$S_{расч}$ , кВА	Количество трансформаторов	$\beta_{тр.ф}$ акт.
1	3253,21	2	0,65
2	966,91	2	0,95
3	939,3	2	0,96
6	906,51	2	0,66
5	969,06	2	0,95

Схема внутрив заводской сети представлена на рисунке 6.





Рисунокб – Схема внутризаводской сети

## 5 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП

Согласно [3, г. 1.2] потребители второй категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, поэтому выбираем двухтрансформаторную ГПП.

Мощность трансформаторов ГПП:

$$S_{\text{трГПП}} = \frac{S_{\text{рГПП}}}{2 \cdot \beta} = \frac{10013,1}{2 \cdot 0,9} = 9152,2 \text{ кВА.}$$

По [1, табл. 9.3] выбираем 2×ТДН-10000/110.

Паспортные данные трансформатора представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Паспортные данные трансформатора

Тип	S <sub>НО</sub> МВ А	U <sub>НОМ</sub> ОБМОТОК, кВ		Схема и группа соединени я обмоток	Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток XX, %
		ВН	НН		XX	КЗ		
ТДН- 1000 0/110	10	115	6,6	Y <sub>0</sub> /Δ - 11	16	59	10,5	0,9

На рисунке 7 представлена принципиальная электрическая схема 6 кВ.

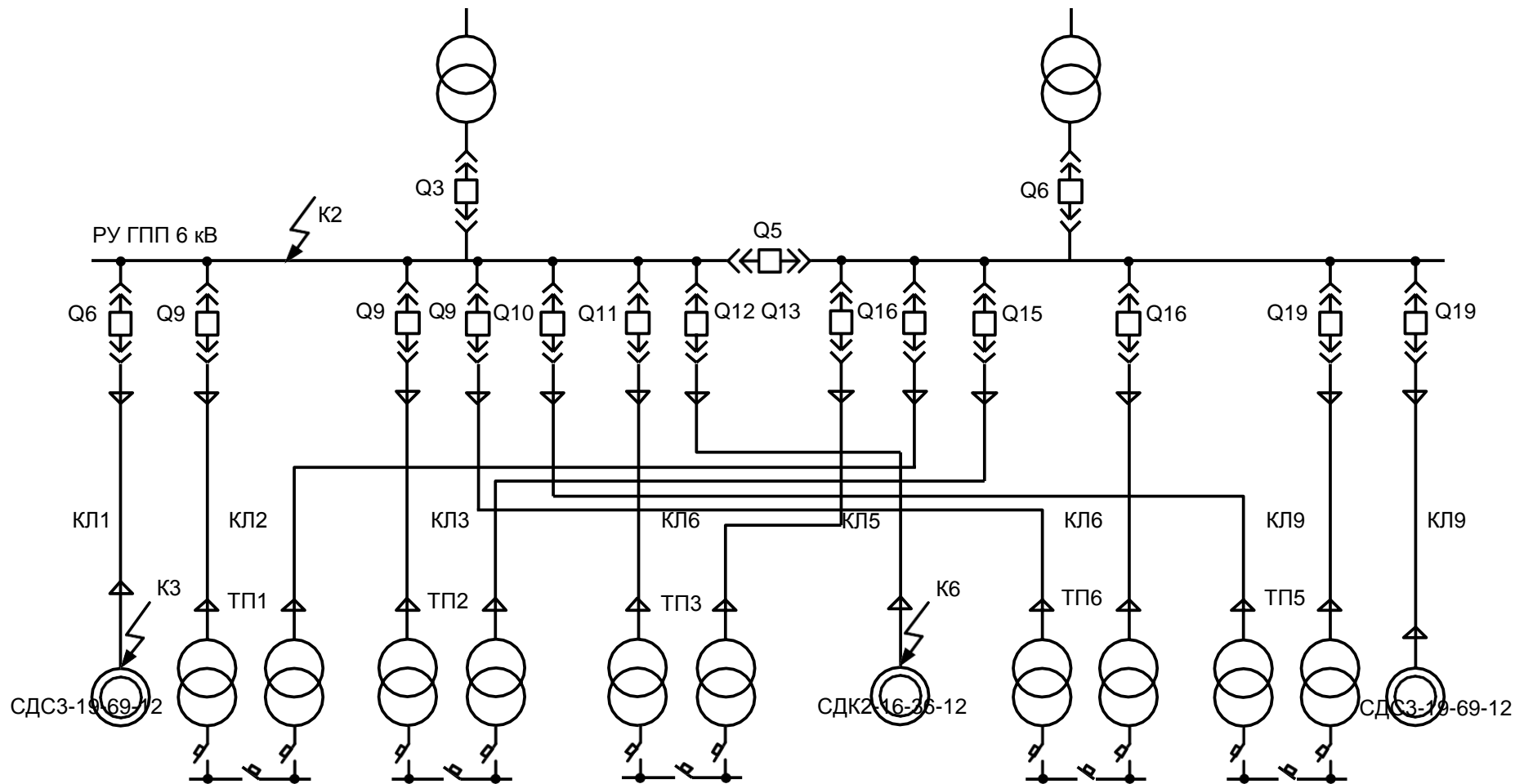


Рисунок 7 – Принципиальная схема электроснабжения предприятия 6 кВ

## 6 Построение суточного графика нагрузки

Для построения суточного графика нагрузки воспользуемся «характерным суточным графиком нагрузки вагоноремонтного завода» [1], который представлен на рисунке 8.

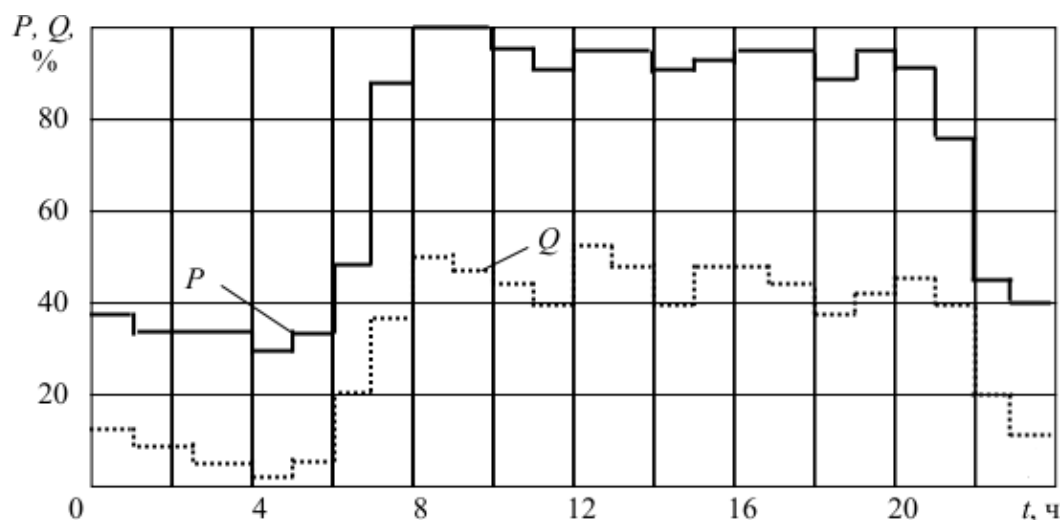


Рисунок 8 - Характерный суточный график нагрузки вагоноремонтного завода

Определим активную мощность ступени для первого часа:

$$P_{см1} = \frac{n_{\%} \cdot P_{рГПП}}{100} = \frac{39 \cdot 9122,2}{100} = 3666,6 \text{ кВт.}$$

где  $n_{\%}$  - загруженность графика нагрузок;

$P_{рГПП}$  - расчетная активная мощность со стороны ВНГПП.

Расчет для остальных ступеней аналогичен. Результаты расчетов приведены в таблице 15.

Таблица 15 -Суточное изменение нагрузки

№ ступени	Часы	$n_{\%}$	$P_{ст}$ , кВт
1	0-1	39	3666,66
2	1-6	36	3101,55
3	6-5	30	2936,66
6	5-6	36	3101,55

Продолжение таблицы 15

5	6-9	69	6399,66
6	9-9	99	9936,31
9	9-10	10 0	9122,2
9	10-11	95	9666,09
9	11-12	91	9301,2
10	12-16	95	9666,09
11	16-15	91	9301,2
12	15-16	93	9693,65
13	16-19	95	9666,09
16	19-19	99	9029,56
15	19-20	95	9666,09
16	20-21	91	9301,2
17	21-22	96	6932,99
18	22-23	65	6106,99
19	23-26	60	3669,99

Определим активную потребляемую энергию за сутки:

$$W_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^{19} P_{\text{сн}} \cdot T_{\text{сн}} = 159266,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Среднесуточная нагрузка:

$$P_{\text{сут}} = \frac{W_{\text{сут}}}{T_{\text{сут}}} = \frac{159266,9}{26} = 6551,1 \text{ кВт.}$$

Найдем коэффициент максимума:

$$K_{\text{max}} = \frac{P_{\text{рлп}}}{P_{\text{сут}}} = \frac{9122,2}{6551,1} = 1,39.$$

Найдем коэффициент загрузки:

$$K_{з.г.} = \frac{1}{K_{\max}} = \frac{1}{1,39} = 0,92.$$

Число часов использования максимума нагрузки в сутки:

$$T_{\max.сут} = K_{з.г.} \cdot T_{сут} = 0,92 \cdot 26 = 19,29 \text{ ч.}$$

Число часов использования максимума нагрузки в год:

$$T_{\max.сут} = K_{з.г.} \cdot T_{сут} \cdot 365 = 0,92 \cdot 26 \cdot 365 = 6309,2 \text{ ч.}$$

## 7 Выбор сечения и проверка линии, питающей ГПП

Воздушную линию, питающую ГПП, выполняем двухцепной - проводами марки АС. Сечение линии выбираем по экономической плотности тока.

Вычислим расчетный ток линии:

$$I_p = \frac{S_{ном.лп}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,69 \text{ А.}$$

По [2, табл. 6.1] определим экономическую плотность тока. Для голых алюминиевых проводов при  $T_{max} = 6309,2$  ч принимаем  $j_{эк} = 1 \text{ А/мм}^2$ .

Выбираем сечение:

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{52,69}{1} = 52,69 \text{ мм}^2.$$

Принимаем ближайшее большее стандартное сечение  $90 \text{ мм}^2$ . Для воздушных линий с проводами марки АС 90/11 по [3, табл. 1.3.29] длительно допустимый ток  $I_{доп} = 265 \text{ А}$ .

Произведем проверку выбранного провода:

1)

$$I_p = 52,69 \text{ А} < I_{доп} = 265 \text{ А};$$

$$1,3 \cdot I_{доп} = 1,3 \cdot 265 \text{ А} > I_{н.а.} = 2 \cdot 52,69 = 106,96 \text{ А.}$$

Выбранное сечение проверку проходит.

2) По условиям механической прочности алюминиевые провода должны иметь сечение не менее  $90 \text{ мм}^2$ . Выбранное сечение проверку проходит.

3) По допустимой потере напряжения. Нормальный режим.

Найдем коэффициент загруженности питающей линии:

$${}_3k = \frac{I_{\text{дон}}}{I_p} = \frac{265}{52,69} = 5,05.$$

Найдем допустимую длину питающей линии:

$$L_{\text{дон}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}\%} \cdot k_3 = 5,1 \cdot 5,05 = 129,9 \text{ км} > 9 \text{ км},$$

где  $l_{\Delta U 1\%} = 5,1$  км - длина линии при полной нагрузке на 1% потери напряжения

[2, табл. П. 5.1];

$\Delta U_{\text{дон}\%} = 5\%$  - допустимая потеря напряжения в нормальном режиме.

Аварийный режим.

$$k_3 = \frac{I_{\text{дон}}}{2 \cdot I_p} = \frac{265}{2 \cdot 52,69} = 2,52.$$

Найдем допустимую длину питающей линии:

$$L_{\text{дон}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}\%} \cdot k_3 = 5,1 \cdot 10 \cdot 2,52 = 129,5 \text{ км} > 9 \text{ км},$$

где  $\Delta U_{\text{дон}\%} = 10\%$  - допустимая потеря напряжения в аварийном режиме.

Выбранное сечение проверку проходит.

4) По условиям короны

Согласно ПУЭ минимальное сечение для 110 кВ составляет 90 мм<sup>2</sup>.

Выбранное сечение проверку проходит.



## 8 Выбор сечений кабельных линий 6кВ

Распределительная сеть 6 кВ по территории предприятия выполняется кабельными линиями, проложенными в траншеях.

Сечения жил кабельных линий будем определять по экономической плотности тока.

Выбор сечения для кабельной линии КЛ2 (РУ НН ГПП –ТП1).

Найдем расчетный ток КЛ:

$$I_{расч} = \frac{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}}{n_{лин} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 2500}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 260,6 \text{ А,}$$

По [3, табл. 1.3.36] определяем экономическую плотность тока. Для кабеля с бумажной пропитанной изоляцией с жилами из алюминия при  $T_{max} > 5000$  ч принимаем  $j_{эк} = 1,2 \text{ А/мм}^2$ .

Найдем экономически целесообразное сечение:

$$F_{эк} = \frac{I_{расч}}{j_{эк}} = \frac{260,6}{1,2} = 200,5 \text{ А.}$$

Округлим найденное значение сечения до ближайшего стандартного  $F = 195 \text{ мм}^2$ .

Предварительно выбираем кабель марки ААШв -  $3 \times 195$ . По [3, табл. 1.3.16] находим допустимый длительный ток  $I_{доп} = 360 \text{ А}$ .

По [3, табл. 1.3.12] допустимая температура нагрева жил кабеля напряжением 6 кВ,  $T = +65^\circ\text{C}$ .

По [3, табл. 1.3.3] определим поправочный коэффициент на токи  $K_1 = 1$ .

По [3, табл. 1.3.26] поправочный коэффициент с учетом 6-ех параллельно проложенных кабелей в земле  $K_2 = 0,96$ .

Произведем проверку выбранного кабеля по допустимому нагреву:

$$I_{\text{доп}} = 360 \text{ А} > \frac{I_{\text{расч}}}{K \cdot K} = \frac{260,6}{1 \cdot 0,96} = 269,6 \text{ А} \text{ — условие выполняется.}$$

Линия КЛ2 может работать с перегрузкой, поэтому выполним проверку по длительному нагреву в послеаварийном режиме.

Ток послеаварийного режима:

$$I_{\text{н.ав.}} = 2 \cdot I_{\text{расч}} = 2 \cdot 260,6 = 691,2 \text{ А.}$$

По [3, табл. 1.3.2] определим допустимую перегрузку по отношению к номинальной при длительности 6 часов  $K_{\text{пер}} = 1,20$ .

$$\frac{K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}}}{K \cdot K} = 1,2 \cdot 360 = 609 \text{ А} < \frac{I_{\text{н.ав.}}}{1 \cdot 0,96} = 592,9 \text{ А.}$$

Как видно, условие не выполняется, поэтому увеличиваем сечение до 260 мм<sup>2</sup>.

Проверку будем производить только на допустимую перегрузку в послеаварийном режиме, так как предыдущее сечение проверку по тепловому нагреву прошло.

По [3, табл. 1.3.16]  $I_{\text{доп}} = 390 \text{ А}$ .

Выполним проверку:

$$\frac{K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}}}{K \cdot K} = 1,2 \cdot 390 = 669 \text{ А} < \frac{I_{\text{н.ав.}}}{1 \cdot 0,96} = 592,9 \text{ А.}$$

Максимальное сечение для данной марки кабеля проверку не прошло, поэтому принимаем решение прокладывать параллельно два кабеля.

Предварительно выбираем кабель ААШв 2(3×95). По [3, табл. 1.3.16] находим допустимый длительный ток  $I_{\text{доп}} = 225 \text{ А}$ .

По [3, табл. 1.3.3] определим поправочный коэффициент на токи  $K_1 = 1$ .

По [3, табл. 1.3.26] определим поправочный коэффициент на 6 работающих кабелей, лежащих рядом в земле  $K_2 = 0,91$ .

Выполним проверку кабеля по тепловому нагреву с учетом поправочных коэффициентов на условия прокладки:

$$I_{доп} = \frac{I_1 \cdot K_1 \cdot K_2}{K \cdot K} = \frac{2 \cdot 225}{1 \cdot 0,91} = 299,03 \text{ А.}$$

Выполним проверку по длительному нагреву в послеаварийном режиме:

$$K_{пер} \cdot I_{доп} = \frac{I_1 \cdot K_1 \cdot K_2}{K \cdot K} = \frac{1,2 \cdot 2 \cdot 225}{1 \cdot 0,91} = 596,1 \text{ А.}$$

Условие перегрузки послеаварийного режима не выполняется, поэтому увеличиваем сечение до 120 мм<sup>2</sup>.

Проверку будем производить только на допустимую перегрузку в послеаварийном режиме, так как предыдущее сечение проверку по тепловому нагреву прошло. По [3, табл. 1.3.16]  $I_{доп} = 260 \text{ А}$ .

Выполним проверку:

$$K_{пер} \cdot I_{доп} = \frac{I_1 \cdot K_1 \cdot K_2}{K \cdot K} = \frac{1,2 \cdot 2 \cdot 260}{1 \cdot 0,91} = 626 \text{ А}$$

Условие выполняется

Расчеты для остальных КЛ аналогичны, результаты расчетов сведены в таблицу 16.

Таблица 16 - Марка и сечения кабельных линий 6 кВ

№	Участок линии	$n_{ли}$ н	Расчетная нагрузка, А		$F_{э}$ к, м м <sup>2</sup>	Предварительная марка кабеля	Допустимая нагрузка, А		$K_1$	$K_2$	$K_{пер}$	$l_{кль}$ , км
			$I_p$	$I_{п.ав}$			$I_{доп}$	$I_{п.ав}$				
КЛ 1	ГПП-СДС3-19-69-12	1	299,6	-	232,02	ААШв 3×260	390	-	1	0,91	-	0,052
КЛ 2	ГПП-ТП1	6	260,6	691,2	200,5	ААШв 2(3×120)	520	626	1	0,91	1,2	0,052
КЛ 3	ГПП-ТП2	2	60,6	121,2	101	ААШв 3×50	155	196	1	0,93	1,2	0,269
КЛ 6	ГПП-ТП3	2	60,6	121,2	101	ААШв 3×50	155	196	1	0,93	1,2	0,259
КЛ 5	РУ ТПЗ-СДК2-16-36-12	1	69,1	-	60,1	ААШв 3×10	60	-	1	0,96	-	0,311
КЛ 6	ГПП-ТП6	2	60,6	121,2	101	ААШв 3×50	155	196	1	0,93	1,2	0,199
КЛ 9	ГПП-ТП5	2	60,6	121,2	101	ААШв 3×50	155	196	1	0,93	1,2	0,099
КЛ 9	ГПП-СДС3-19-69-12	1	299,6	-	232,02	ААШв 3×260	390	-	1	0,91	-	0,052

## 9 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000В

Во – первых, составим расчетную схему, которая представляет собой упрощенную однолинейную схему электроснабжения.

Расчетная схема представлена на рисунке 9.

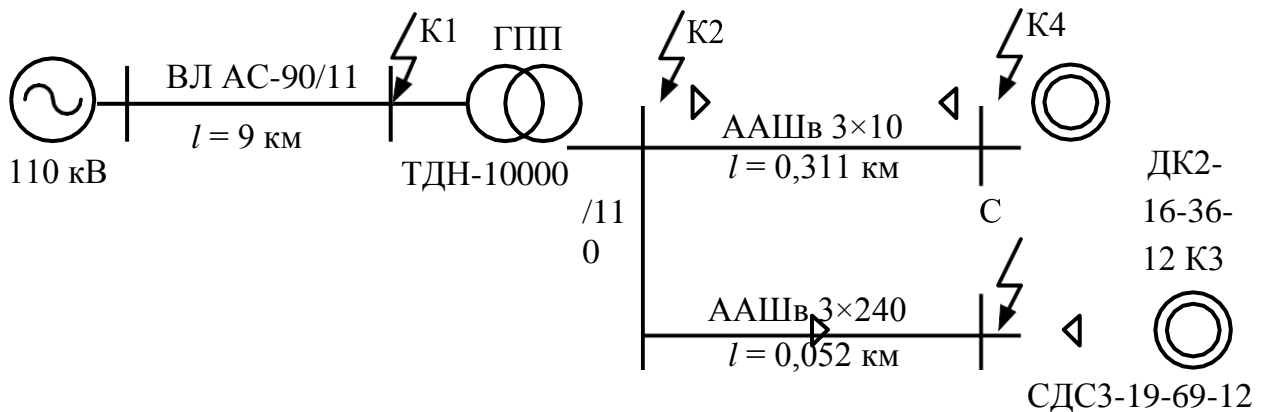


Рисунок9– Расчетная схема

Составим схему замещения по расчетной схеме. Схема замещения представлена на рисунке 10.

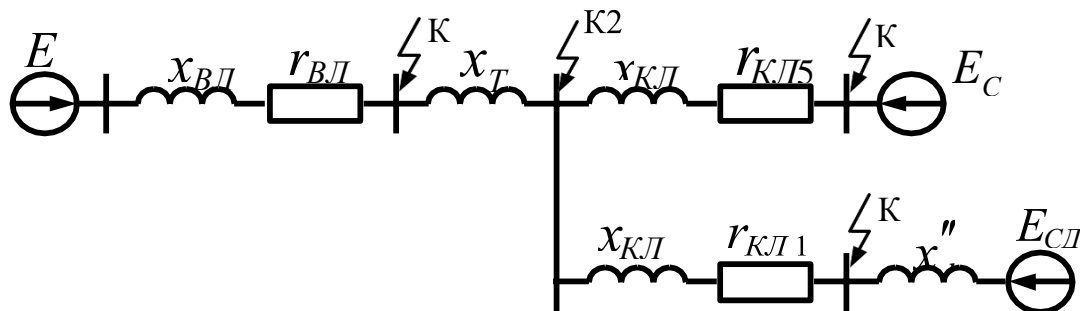


Рисунок10– Схема замещения

Определим сопротивления схемы замещения.

Расчет будет вестись в базисных единицах.

Принимаем  $S_{\text{б}} = 1000 \text{ МВА}$ ,  $U_{\text{ср.ном1}} = 115 \text{ кВ}$ ,  $U_{\text{ср.ном2}} = 6,3 \text{ кВ}$ .

Систему будем считать шинами бесконечной мощности, поэтому  $x_C = 0$ .

В таблице 17 представлены погонные активные и индуктивные сопротивления ВЛ и КЛ.

Таблица 17–Погонные активные и индуктивные сопротивления ВЛ и КЛ

№	Длина, км	Марка КЛ/ВЛ	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км
ВЛ	9	АС-90/11	0,66	0,619
КЛ1	0,052	ААШВ 3×260	0,13	0,0599
КЛ5	0,311	ААШВ 3×10	3,12	0,093

Сопротивления ВЛ 110 кВ:

$$r_{ВЛ} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\sigma}}{U_{ср.ном1}^2} = \frac{0,66 \cdot 9 \cdot 1000}{115^2} = 0,263 \text{ о.е.};$$

$$x_{ВЛ} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\sigma}}{U_{ср.ном1}^2} = \frac{0,619 \cdot 9 \cdot 1000}{115^2} = 0,22 \text{ о.е.}$$

Индуктивное сопротивление ТР ТДН-10000/110 кВА:

$$x_{ТР} = \frac{U_{КЗ\%}}{100 \cdot S_{но}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 10} = 10,5 \text{ о.е.}$$

Сопротивления  
КЛ1 110

$$r_{КЛ1} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\sigma}}{U_{ср.ном2}^2} = \frac{0,13 \cdot 0,052 \cdot 1000}{6,3^2} = 0,19 \text{ о.е.};$$

$$x_{КЛ1} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\sigma}}{U_{ср.ном2}^2} = \frac{0,0599 \cdot 0,052 \cdot 1000}{6,3^2} = 0,099 \text{ о.е.}$$

Сопротивления КЛ5:

$$r_{КЛ5} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\sigma}}{U_{ср.ном2}^2} = \frac{3,12 \cdot 0,311 \cdot 1000}{6,3^2} = 26,6 \text{ о.е.};$$

$$x_{КЛ5} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\sigma}}{U_{ср.ном2}^2} = \frac{0,093 \cdot 0,311 \cdot 1000}{6,3^2} = 0,59 \text{ о.е.}$$

Расчет токов КЗ Точка К1.

Определим базисный ток:

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp,ном1}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА.}$$

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{ВЛ}^2 + x_{ВЛ}^2} = \sqrt{0,243^2 + 0,22^2} = 0,329 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{I_{\sigma 1}}{Z_{рез}} = \frac{5,02}{0,329} = 15,3 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания:

$$T_{a1} = \frac{x_{ВЛ}}{\omega \cdot r_{ВЛ}} = \frac{x_{ВЛ}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_{ВЛ}} = \frac{0,22}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,263} = 0,003 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{уд1} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,003} = 1,036.$$

Ударный ток:

$$i_{удK1} = \sqrt{2} \cdot K_{уд1} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,036 \cdot 15,3 = 22,6 \text{ кА.}$$

### Точка К2.

При расчете тока КЗ в точке К2 необходимо учесть подпитку от СДСЗ-19- 69-12, так как для кабельной линии, питающей СД менее 300 м.

Расчет тока КЗ от системы. Определим базисный ток:

$$I_{\sigma 2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{cp,ном2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,66 \text{ кА.}$$

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{ВЛ}^2 + (x_{ВЛ} + x_{ТР})^2} = \sqrt{0,243^2 + (0,22 + 10,5)^2} = 10,9 \text{ о.е.}$$

Результирующий ток КЗ в точке К2:

$$I_{K2}^{(3)} = I_{K2,сист}^{(3)} + I_{K2,СД}^{(3)} = 9,56 + 0,962 = 9,5 \text{ кА.}$$

$$i_{y\delta K2} = i_{y\delta K2_{сист}} + i_{y\delta K2_{СД}} = 23,6 + 2,5 = 25,9 \text{ кА.}$$

### Точка КЗ

При расчете тока КЗ в точке КЗ также необходимо учесть подпитку от СДСЗ-19-69-12.

Расчет тока КЗ от системы.

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$\begin{aligned} Z_{рез} &= \sqrt{(r_{ВЛ} + r_{КЛ1})^2 + (x_{ВЛ} + x_{ТП} + x_{КЛ1})^2} = \\ &= \sqrt{(0,243+0,19)^2 + (0,22+10,5+0,099)^2} = 10,9 \text{ о.е.} \end{aligned}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{K3_{сист}}^{(3)} = \frac{I_{б2}}{Z_{рез}} = \frac{91,66}{10,9} = 9,69 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания:

$$\begin{aligned} T_{a3} &= \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП} + x_{КЛ1})}{\omega \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ1})} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП} + x_{КЛ1})}{2 \cdot \pi \cdot f_{ВЛ} \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ1})} = \\ &= \frac{(0,22+10,5+0,099)}{2 \cdot 3,16 \cdot 50 \cdot (0,263 + 0,19)} = 0,093 \text{ с.} \end{aligned}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{y\delta3} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,093}} = 1,99.$$

Ударный ток:

$$i_{y\delta K3_{сист}} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta3} \cdot I_{K3_{сист}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,99 \cdot 9,69 = 22,56 \text{ кА.}$$

Расчет тока КЗ от СД.

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:



$$I_{K3\_CD}^{(3)} = \frac{E'' \cdot I_{номCD}}{x_d''} = \frac{1,1 \cdot 299,6}{0,2} = 1,53 \text{ кА.}$$

Результирующий ток КЗ в точке КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = I_{K3сист}^{(3)} + I_{K3\_CD}^{(3)} = 9,69 + 1,53 = 10,01 \text{ кА.}$$

$$i_{y\delta K3} = i_{y\delta K3сист} + i_{y\delta K3\_CD} = 22,56 + 6,09 = 26,6 \text{ кА.}$$

Точка

К6.

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$\begin{aligned} Z_{рез} &= \sqrt{(r_{ВЛ} + r_{КЛ5})^2 + (x_{ВЛ} + x_{ТР} + x_{КЛ5})^2} = \\ &= \sqrt{(0,243 + 24,4)^2 + (0,22 + 10,5 + 0,59)^2} = 29,1 \text{ о.е.} \end{aligned}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{K6}^{(3)} = \frac{I_{б2}}{Z_{рез}} = \frac{91,66}{29,1} = 3,39 \text{ кА.}$$

Постоянная

затухания:

$$\begin{aligned} T_{a6} &= \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТР} + x_{КЛ5})}{\omega \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ5})} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТР} + x_{КЛ5})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ5})} = \\ &= \frac{(0,22 + 10,5 + 0,59)}{2 \cdot 3,16 \cdot 50 \cdot (0,263 + 26,6)} = 0,0015 \text{ с.} \end{aligned}$$

Ударный

коэффициент:

$$K_{y\delta 6} = 1 + e^{-0,01 \cdot T_{a6}} = 1 + e^{-0,01 \cdot 0,0015} = 1.$$

Ударный

ток:

$$i_{y\delta K6} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta 6} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,39 = 6,99 \text{ кА.}$$

Сводная ведомость токов КЗ приведена в таблице 18.

Таблица 18–Сводная ведомость токов КЗ

Расчетные токи		К1	К2	К3	К6
Токи КЗ, кА	$I^{(3)}$	15,3	9,5	10,01	3,3 9
	$i_{уд}$	22,6	25,9	26,6	6,9 9

Расчетное значение тока КЗ в точке К3 больше, чем в точке К2, поэтому проверку линии КЛ1 на устойчивость к токам КЗ будем производить по этому току.

Проверка сечений КЛ на термическую стойкость к токам КЗ. Проверяем ранее выбранное сечение КЛ1. По расчетам  $I_{КЗ}^{(3)} = 10,01$ кА.

ВРУ 6кВ принимаем вакуумные выключатели  $t_{откл} = 0,05$ с по [1].

Схема внутривозовского электроснабжения предприятия одноступенчатая поэтому принимаем для КЛ1  $t_{р.з.} = 0,01$  с по [2, стр. 165].

Определим постоянную времени затухания:

$$T_{a3} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП} + x_{КЛ1})}{\omega \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ1})} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТП} + x_{КЛ1})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ1})} = \frac{0,22 + 10,5 + 0,099}{2 \cdot 3,16 \cdot 50 \cdot (0,263 + 0,19)} = 0,093 \text{ с.}$$

Приведенное время отключения тока КЗ:

$$t_{пр} = t_{р.з.} + t_{откл} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с.}$$

Определяем величину теплового импульса:

$$B_k = I_{КЗ}^{(3)2} \cdot (t_{пр} + T_{a3}) = 10,01^2 \cdot (0,06 + 0,093) = 16,3 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с.}$$

Минимальное сечение кабеля меньше предварительного выбранного сечения кабеля ААШв (3\*260), поэтому данный кабель проверку проходит.

## 10 Выбор высоковольтного оборудования

### Выбор схемы ГПП

Выбираем схему бН-два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий, условное изображение которой представлено на рисунке 11.

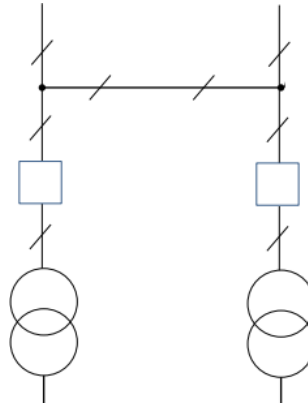


Рисунок 11– Условное изображение схемы бН

Развернутая схема бН приведена на рисунке 12.

Номинальный ток трансформатора ТДН-10000/110:

$$I_{\text{номВН}} = \frac{S_{\text{тр.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номВН}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,69 \text{ А};$$

$$I_{\text{номНН}} = \frac{S_{\text{тр.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номНН}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6,6} = 996,9 \text{ А}.$$

Найдем токи в питающих линиях.

Нормальный режим:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{тр.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,69 \text{ А}.$$

Послеаварийный режим:

$$I_{\text{п.ав}} = 2 \cdot I_{\text{расч}} = 2 \cdot 52,69 = 106,96 \text{ А}.$$

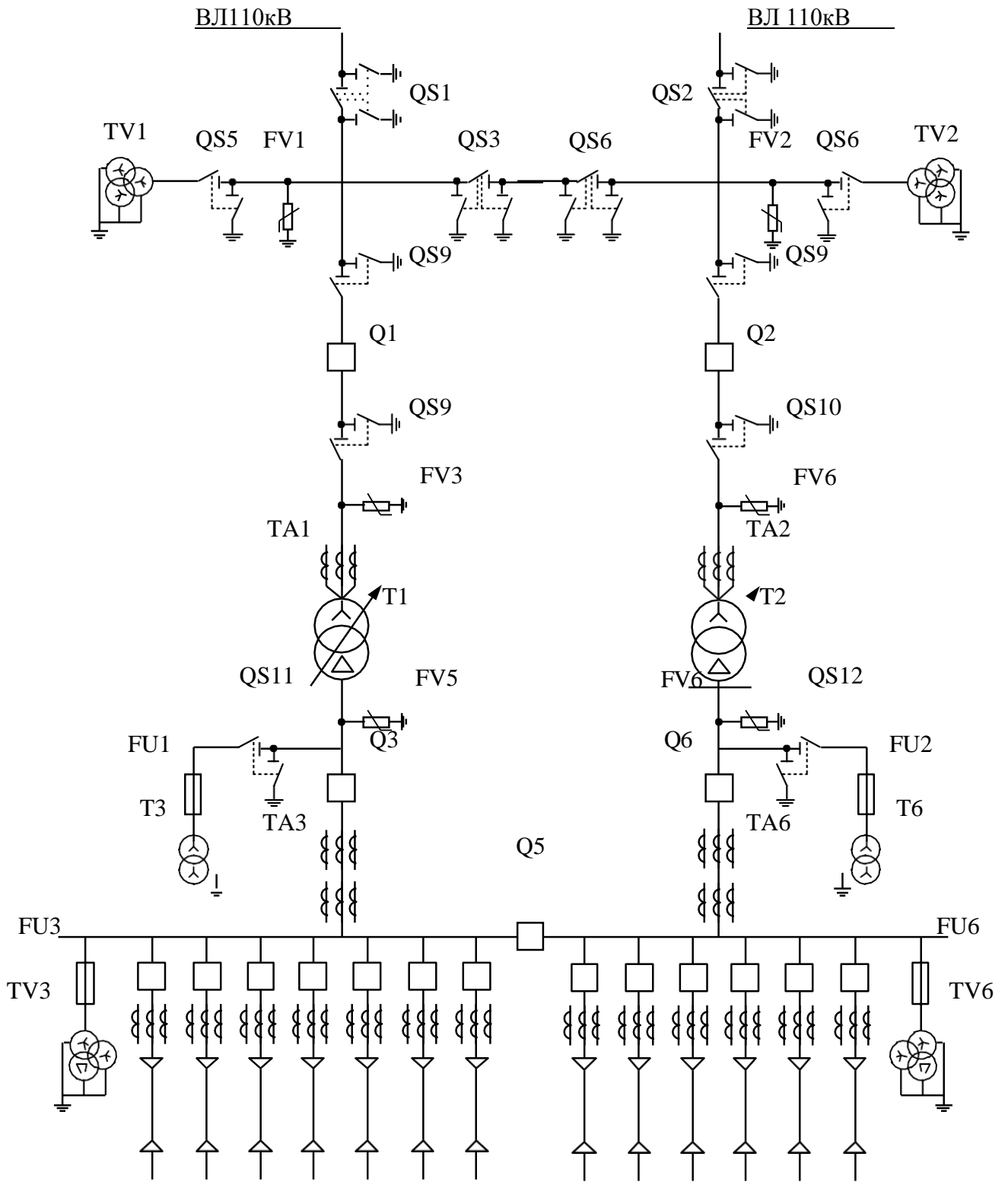


Рисунок 12 - Развернутая схема 6Н

### Выбор высоковольтных выключателей

На 110 кВ предварительно выбираем элегазовые выключатели типа ВГТ- 110-60/3150-У1.

Выполним проверки выбранного выключателя. По напряжению:

$$U_{ном} = 110 \text{ кВ} = U_{уст} = 110 \text{ кВ.}$$

По

току:

$$I_{ном} = 3150 \text{ А} > I_{номВН} = 52,69 \text{ А.}$$

На электродинамическую стойкость:

$$i_{дин} = 102 \text{ кА} > i_{уд} = 22,6 \text{ кА.}$$

По отключающей способности:

$$I_{ном.откл} = 60 \text{ кА} > I_{н0} = 15,3 \text{ кА.}$$

На термическую стойкость:

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 60^2 \cdot 3 = 6900 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 15,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где, тепловой импульс:

$$B_k = I_{н0}^2 \cdot (t_{пр} + T) = 15,3^2 \cdot (0,065 + 0,003) = 15,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{x_{ВЛ}}{\omega r_{ВЛ}} = \frac{x_{ВЛ}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_{ВЛ}} = \frac{0,22}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,263} = 0,003 \text{ с};$$

приведенное время отключения тока КЗ:

$$t_{np} = t_{p.z.} + t_{откл} = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ с.}$$

Выбранный выключатель удовлетворяет условия проверок. Выбираем выключатели на 6 кВ.

Расчетный ток для выключателей Q3, Q6  $I_{расч} = 1,6 \cdot I_{номНН} = 1,6 \cdot 996,9 = 1226,9 \text{ А}$ , для Q5 -  $I_{расч} = 996,9 \text{ А}$ .

Предварительно выбираем выключатели по [бтабл.1]: Для Q3, Q6 – ВВ/TEL-10-20/1600-У2;

Для Q5 – ВВ/TEL-10-20/1000-У2.

Для проверки данных марок выключателей достаточно проверить только выключатель ВВ/TEL-10-20/1000-У2.

Выполним проверки выбранного выключателя.

На термическую стойкость:

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B = 61,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где, тепловой импульс:

$$B = I_{н0}^2 \cdot (t_{np} + T_d) = 9,5^2 \cdot (0,562 + 0,16) = 61,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТР})}{\omega \cdot r_{ВЛ}} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{ТР})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_{ВЛ}} = \frac{(0,22 + 10,5)}{2 \cdot 3,16 \cdot 50 \cdot 0,263} = 0,16 \text{ с.}$$

приведенное время отключения тока КЗ:

$$t_{np} = t_{p.z.} + t_{откл} = 0,5 + 0,062 = 0,562 \text{ с.}$$

Выполним проверки выбранного выключателя. По напряжению:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} > U_{уст} = 6 \text{ кВ}.$$

По  
току:

$$I_{ном} = 1000 \text{ А} > I_{раб.мах} = 299,6 \text{ А}.$$

На электродинамическую стойкость:

$$i_{дин} = 51 \text{ кА} > i_{уд} = 25,9 \text{ кА}.$$

По отключающей способности:

$$I_{ном.откл} = 20 \text{ кА} > I_{н0} = 9,5 \text{ кА}.$$

### *Выбор предохранителей*

Для выбора предохранителей для защиты трансформаторов собственных нужд найдем номинальный ток первичной обмотки ТМ-630/6:

$$I_{номТСН} = \frac{S_{мах}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,6 \text{ А}.$$

По [1, табл. 9.9] предварительно выбираем предохранители ПКТ-102-6-90-20-УЗ.

Выбранные предохранители удовлетворяют всем условиям проверки.

Для защиты трансформаторов напряжения 6 кВ по [1, табл. 9.9] выбираем предохранители ПKN-001-6-ХЛ1. Проверки для них не требуются.

### *Выбор ограничителей перенапряжения*

Для защиты силовых трансформаторов и трансформаторов напряжения со стороны 110 кВ по [1] выбираем ОПН типа ОПН-П1-110/99/10/2- УХЛ1.

Для защиты силовых трансформаторов и ТСН со стороны 6 кВ по [1, табл.9.13] выбираем ОПН типа ОПН-П-6/9,2/10-1-III-УХЛ1.

## 11 Расчет токов короткого замыкания до 1000В

Расчет токов короткого замыкания будем производить для самого удаленного электроприемника цеха, которым является универсально-заточной станок.

Расчетная схема распределительной сети приведена на рисунке 13.

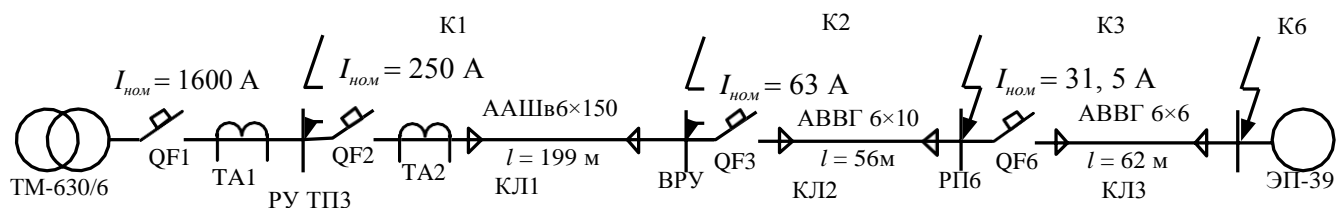


Рисунок 13 - Расчетная схема распределительной сети

Определим сопротивления элементов для расчета токов трехфазного КЗ.

Сопротивление силового трансформатора:

$$R_{\text{тр}} = 3,1 \text{ мОм}; X_{\text{тр}} = 13,6 \text{ мОм}.$$

Сопротивления автоматических выключателей QF1-QF6:  $R_{\text{QF1}} = 0,09 \text{ мОм}; X_{\text{QF1}} = 0,09 \text{ мОм}; R_{\text{kQF1}} = 0,1 \text{ мОм}; R_{\text{QF2}} = 0,6 \text{ мОм}; X_{\text{QF2}} = 0,5 \text{ мОм}; R_{\text{kQF2}} = 0,6 \text{ мОм};$

$$R_{\text{QF3}} = 2,6 \text{ мОм}; X_{\text{QF3}} = 2 \text{ мОм}; R_{\text{kQF3}} = 1 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{QF6}} = 5,5 \text{ мОм}; X_{\text{QF6}} = 6,5 \text{ мОм}; R_{\text{kQF6}} = 1,3 \text{ мОм}.$$

Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТА2:

$$R_{\text{ТТ}} = 0,2 \text{ мОм}; X_{\text{ТТ}} = 0,3 \text{ мОм}.$$

Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТА1 не учитываем ввиду его малости.

Сопротивления КЛ1:

$$R_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,209 \cdot 199 = 39,3 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,059 \cdot 199 = 11,15 \text{ мОм}.$$

Сопротивления КЛ2:



$$R_{KL2} = r_0 \cdot l_{KL2} = 3,12 \cdot 56 = 169,69 \text{ мОм};$$

$$X_{KL2} = x_0 \cdot l_{KL2} = 0,093 \cdot 56 = 3,96 \text{ мОм}.$$

Сопротивления КЛЗ:

$$R_{KL3} = r_0 \cdot l_{KL3} = 5,21 \cdot 62 = 219,92 \text{ мОм};$$

$$X_{KL3} = x_0 \cdot l_{KL3} = 0,09 \cdot 62 = 3,99 \text{ мОм}.$$

Переходные сопротивления ступеней распределения:

$$R_{РУНН} = 15 \text{ мОм}; R_{ВРУ} = 20 \text{ мОм}; R_{ПР} = 25 \text{ мОм}.$$

Активные переходные сопротивления неподвижных контактных соединений:

$$R_{ккЛ1} = 0,021 \text{ мОм}; R_{ккЛ2} = 0,095 \text{ мОм}; R_{ккЛ3} = 0,095 \text{ мОм}.$$

Определим эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ.

$$R_1 = R_{mp} + R_{QF1} + R_{kQF1} + R_{РУНН} = 3,1 + 0,09 + 0,1 + 15 = 19,29 \text{ мОм};$$

$$X_1 = X_{mp} + X_{QF1} = 13,6 + 0,09 = 13,69 \text{ мОм};$$

$$R_2 = R_{QF2} + R_{kQF2} + R_{ТТ} + R_{КЛ1} + R_{ккЛ1} + R_{ВРУ} = 0,6 + 0,6 + 0,2 + 39,3 + 0,021 + 20 = 60,52 \text{ мОм};$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{ТТ} + X_{КЛ1} = 0,5 + 0,3 + 11,15 = 11,95 \text{ мОм};$$

$$R_3 = R_{QF3} + R_{kQF3} + R_{KL2} + R_{ккЛ2} + R_{ПР} = 2,6 + 1 + 169,69 + 0,095 + 25 = 196,99 \text{ мОм};$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{KL2} = 2 + 3,96 = 5,96 \text{ мОм};$$

$$R_6 = R_{QF6} + R_{kQF6} + R_{KL3} + R_{ккЛ3} = 5,5 + 1,3 + 219,92 + 0,095 = 225,9 \text{ мОм};$$

$$X_6 = X_{QF6} + X_{KL3} = 6,5 + 3,99 = 9,29 \text{ мОм}.$$

Упрощенная схема замещения представлена на рисунке 14.

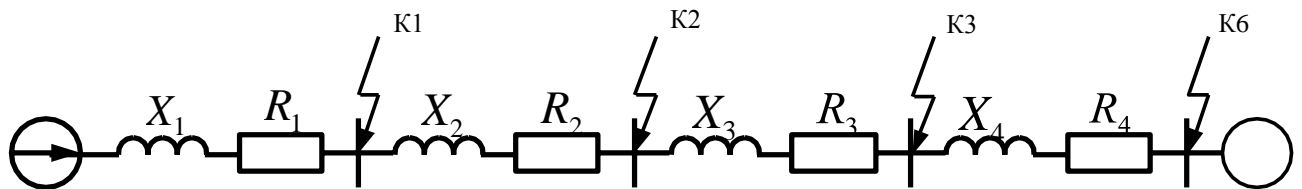


Рисунок14 – Упрощенная схема замещения распределительной сети

Рассчитаем токи трехфазного и двухфазного КЗ для точки К1.

Суммарное сопротивление:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{18,28^2 + 13,68^2} = 22,93 \text{ мОм.}$$

Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_1} = \frac{600 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22,83} = 10,11 \text{ кА.}$$

Постоянная  
затухания:

$$T_a = \frac{X_1}{\omega \cdot R_1} = \frac{13,69}{316 \cdot 19,29} = 0,0026 \text{ с.}$$

Ударный  
коэффициент:

$$k_{y\delta} = 1 + e^{-0,01/T_a} = 1 + e^{-0,01/0,0026} = 1,02.$$

Ударный ток  
КЗ:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot k_{y\delta} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,02 \cdot 10,11 = 16,6 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного КЗ:

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)} = 0,99 \cdot I_{K3}^{(3)} = 0,99 \cdot 10,11 = 9,9 \text{ кА.}$$

Расчет токов КЗ для остальных точек производится аналогичным образом, результаты расчетов сведены в таблицу 17.

Расчет токов однофазных КЗ.

Определим сопротивления нулевых проводников и трансформатора и составим схему замещения.

$$Z_{mp} = \sqrt{R_{mp}^2 + X_{mp}^2} = 13,95 \text{ мОм.}$$

Сопротивления нулевых проводников кабельных линий КЛ1-КЛ3:

$$R_{0-КЛ1} = r_0 \cdot l_{КЛ1} = 0,209 \cdot 199 = 39,3 \text{ мОм};$$

$$R_{0-КЛ2} = r_0 \cdot l_{КЛ2} = 3,12 \cdot 56 = 169,69 \text{ мОм};$$

$$R_{0-КЛ3} = r_0 \cdot l_{КЛ3} = 5,21 \cdot 62 = 219,92 \text{ мОм.}$$

Кроме того, изменятся индуктивные сопротивления кабельных линий.

$$X_{КЛ1} = x_0 \cdot l_{КЛ1} = 0,15 \cdot 199 = 29,35 \text{ мОм};$$

$$X_{КЛ2} = x_0 \cdot l_{КЛ2} = 0,15 \cdot 56 = 9,1 \text{ мОм};$$

$$X_{КЛ3} = x_0 \cdot l_{КЛ3} = 0,15 \cdot 62 = 6,3 \text{ мОм.}$$

Определим эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ.

$$R_1 = R_{QF1} + R_{kQF1} + R_{PVHH} = 0,09 + 0,1 + 15 = 15,19 \text{ мОм};$$

$$X_1 = X_{QF1} = 0,09 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} R_2 &= R_{QF2} + R_{kQF2} + R_{TT} + R_{КЛ1} + R_{kkКЛ1} + R_{0-КЛ1} + R_{BPV} = \\ &= 0,6 + 0,6 + 0,2 + 39,3 + 39,3 + 0,021 + 20 = 99,92 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{TT} + X_{КЛ1} = 0,5 + 0,3 + 29,35 = 29,15 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} R_3 &= R_{QF3} + R_{kQF3} + R_{КЛ2} + R_{0-КЛ2} + R_{kkКЛ2} + R_{IP} = \\ &= 2,6 + 1 + 169,69 + 169,69 + 0,095 + 25 = 365,65 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{КЛ2} = 2 + 9,1 = 10,1 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} R_6 &= R_{QF6} + R_{kQF6} + R_{КЛ3} + R_{0-КЛ3} + R_{kkКЛ3} = \\ &= 5,5 + 1,3 + 219,92 + 219,92 + 0,095 = 666,52 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$X_6 = X_{QF6} + X_{КЛ3} = 6,5 + 6,3 = 10,9 \text{ мОм.}$$

Рассчитаем ток однофазного КЗ для точки К1. Полное сопротивление петли «фаза ноль»:

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{15,18^2 + 0,08^2} = 15,19 \text{ мОм.}$$

Ток однофазного КЗ:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{mp}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0}} = \frac{230}{13,95 + 15,19} = 9,99 \text{ кА.}$$

Токи однофазного КЗ для остальных точек рассчитываются аналогично, результаты расчетов сведены в таблицу 19.

Таблица 19 – Сводная ведомость токов КЗ

Расчетные точки		К1	К2	К3	К 6
Токи КЗ, кА	$I_{K3}^{(1)}$	9,9 9	1,9 5	0,6 66	0,265
	$I_{K3}^{(2)}$	9,9	3,6 3	0,9 2	0,399
	$I_{K3}^{(3)}$	10, 11	2,9 9	0,9 32	0,659
	$i_{уд}$	16, 6	3,9 5	1,1 9	0,669

## 12 Построение карты селективности действия аппаратов защиты

Расчетная схема для построения карты приведена на рисунке 15.

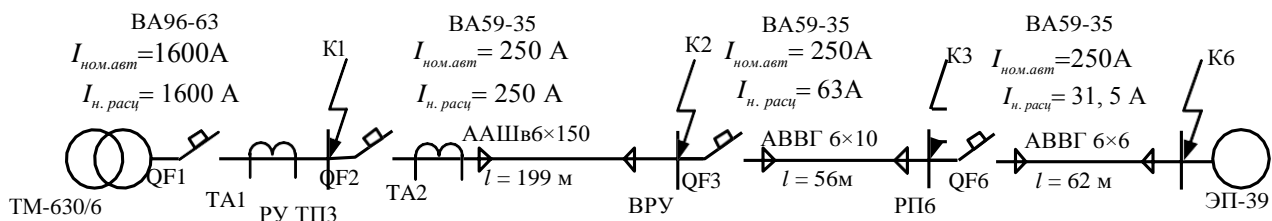


Рисунок 15 – Расчетная схема для построения карты селективности

Таблица 20 - Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

	ЭП №39	РП6	ВРУ	РУ НН ТПЗ	Значение тока КЗ в соотв. точках, кА			
					К1	К2	К3	К6
Расчетный ток, А	-	39,1	226,5	959,2	10,1 1	2,99	0,93 2	0,65 9
Пиковый ток, А	-	266, 2	622,9	1155,6				
Номинальный ток, А	23,9	-	-	-				
Пусковой ток, А	119, 5	-	-	-				

Таблица 21 - Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
ВА96-63	1600	3200
ВА59-35	250	625
ВА59-35	63	315
ВА59-35	31,5	126

Карта селективности представлена на рисунке 16.

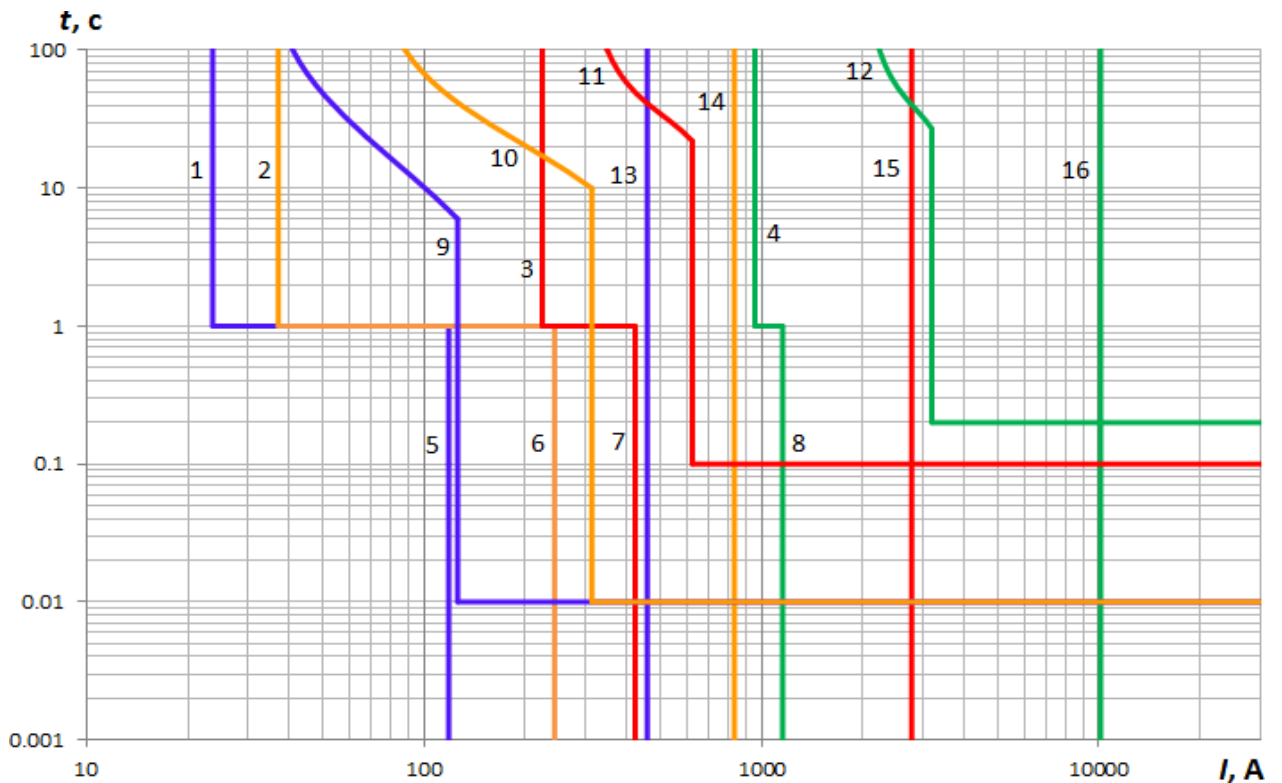


Рисунок 16 – Карта селективности действия аппаратов защиты

Обозначения на карте селективности:

1 – номинальный ток ЭД; 2 – расчетный ток ПР6; 3 – расчетный ток ВРУ; 6 – расчетный ток ТП-3; 5 – пусковой ток ЭД; 6 – пиковый ток ПР6; 9 – пиковый ток ВРУ; 9 – пиковый ток ТП-3; 9 – защитная характеристика ВА59-35 ( $I_{н.расц} = 31,5 \text{ A}$ ); 10 – защитная характеристика ВА59-35 ( $I_{н.расц} = 63 \text{ A}$ ); 11 – защитная характеристика ВА59-35 ( $I_{н.расц} = 250 \text{ A}$ ); 12 – защитная характеристика ВА96-63 ( $I_{н.расц} = 1600 \text{ A}$ ); 13 – ток КЗ в точке К6; 16 – ток КЗ в точке К3; 15 – ток КЗ в точке К2; 16 – ток КЗ в точке К1.

### 13 Заземление и молниезащита

Обеспечение безопасной работы является одной из главных задач любого промышленного предприятия, имеющего в своем производстве электрооборудование. Самым важным аспектом техники безопасности цехов является заземление станков, предотвращающее возникновение травмоопасных ситуаций, связанных с поражением током.

Заземление - это особое гальваническое соединение частей электроустановки с заземляющим устройством.

Благодаря заземлению возникает уравнивание потенциалов между электрооборудованием и заземляющим устройством, обеспечивающим уход тока в землю. В зависимости от используемых заземляющих конструкций, заземление может быть естественным и искусственным.

Естественные заземлители представлены всевозможными металлическими предметами, постоянно находящимися в земле. К ним относятся арматура, трубы, сваи и прочие конструкции, способные проводить ток. Но электрическое сопротивление и другие параметры, присущие этим предметам, невозможно точно проконтролировать, и спрогнозировать.

Поэтому с таким заземлением нельзя нормально эксплуатировать любое электрооборудование. Нормативными документами предусматривается только искусственное заземление с использованием специальных заземляющих устройств.

Расчет заземления - это нахождение числа заземлителей и длины соединительной полосы.

Монтаж контура заземления выполняют на основе трех базовых схем: кольцевой, фундаментной и с использованием глубинных заземлителей (или очаговая).

На практике фундаментные заземлители редко используют, в основном делают очаговый или кольцевой контур заземления, а это требует дополнительных и весьма трудоемких земляных работ.

## Типы систем заземления

На производстве чаще всего используются 2 системы – модульно-штыревая система заземления и система электролитического заземления.

Выбор между ними обусловлен исходными данными и условиями. Обе системы надежно работают в любой сезон в течение всего срока службы.

Модульно-штыревая система позволяет организовать надежное заземление крупных промышленных объектов.

На рисунке 17 представлена схема контура заземления.

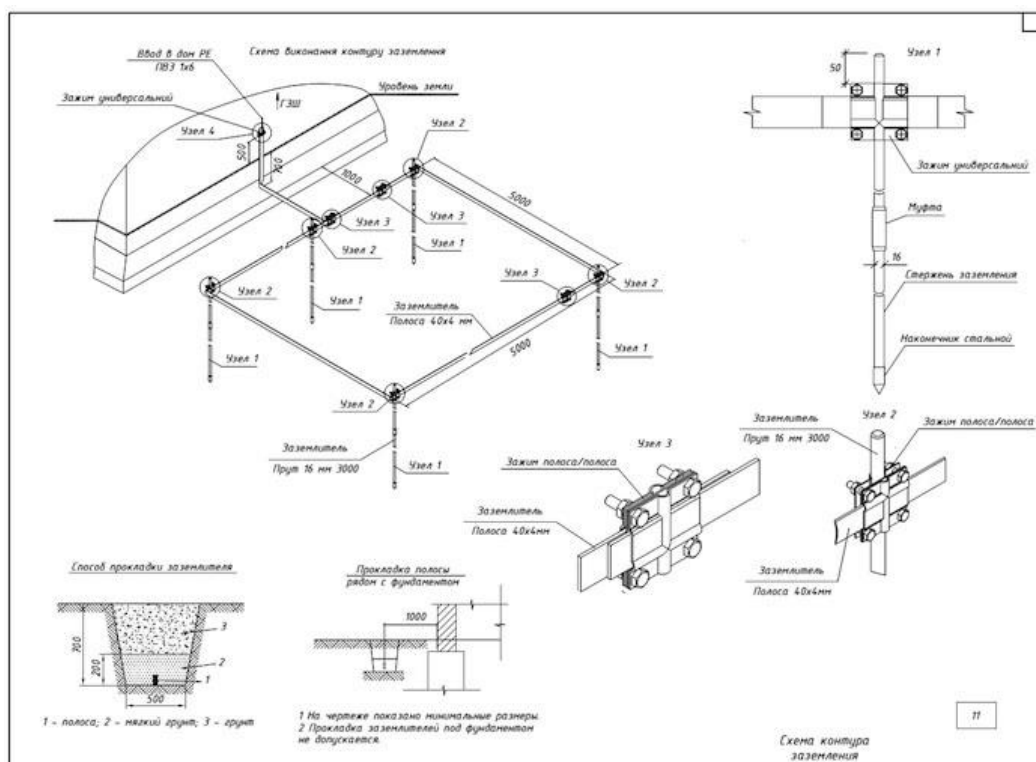


Рисунок 17- Схема контура заземления

Ключевые элементы системы – омедненные стержни заземления, стержни из оцинкованной стали или из нержавеющей стали длиной 1,2 м или 1,5 м, диаметром 14 мм или 16 мм. Они стыкуются между собой при помощи муфт и последовательно заглубляются в грунт.

Контур заземления формируется при помощи горизонтальных металлических проводников. Для закрепления проводников и их соединения с вертикальными электродами используются зажимы и держатели.

Срок службы системы в зависимости от применяемых материалов – до 50 лет.



Преимущества:

- Проводники и их соединения надежно защищены от коррозии
- Монтаж заземления с помощью перфоратора – не требуются сварочные работы
- С установкой и дальнейшим обслуживанием системы самостоятельно справится один человек

Электролитическое заземление применяется в песчаных, скальных и мерзлых грунтах с высоким удельным сопротивлением.

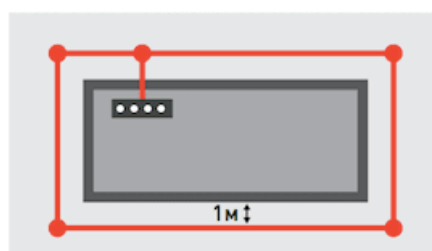
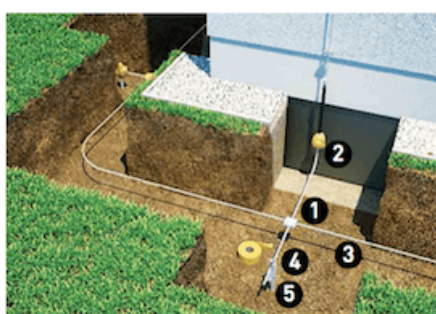
Срок службы системы – не менее 50 лет. Вертикальный или горизонтальный электрод длиной от 2,5 до 12 метров выполнен из нержавеющей стали с перфорацией и заполнен электролитической смесью.

Специальный состав EZACTIV снижает сопротивление грунта вокруг электрода и способствует максимально эффективному функционированию системы.

Преимущества:

- Стабильно низкое сопротивление заземления в грунтах с высоким удельным сопротивлением
- Установка заземления в скважине или траншее на минимально возможной площади
- Простота контроля работы системы и дозаправки электролита через инспекционный колодец.

На рисунке 18 представлена схема глубинного, а на рисунке 19 кольцевого заземления.



1 – крестовой соединитель, 2 – антикоррозионная лента, 3 – круглый проводник, 4 – соединительные клеммы, 5 – стержень заземления.

Рисунок 18 - Схема глубинного заземления

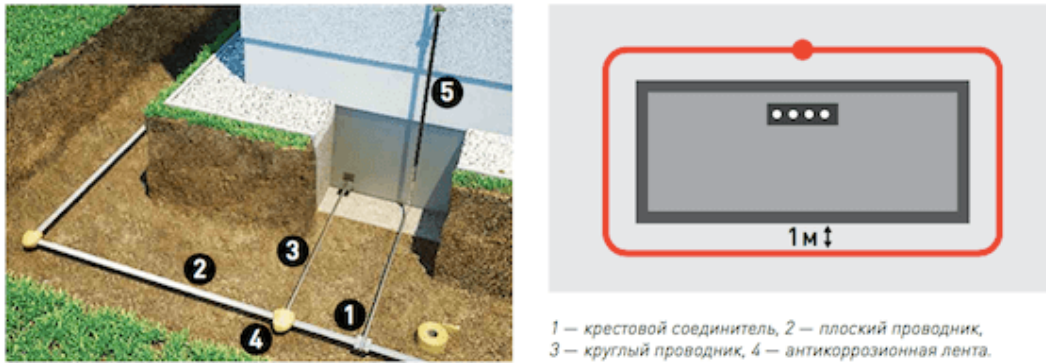


Рисунок 19 - Схема кольцевого заземления

Правилами определяются и те элементы, которые не могут служить контуром заземления. В первую очередь, это изделия из железобетона, находящиеся под напряжением, трубопроводы для транспортировки горючих веществ, трубы канализации и отопления. Если без естественных заземлителей никак не обойтись, необходимо выполнить предварительные расчеты и решить, как правильно сделать выбор той или иной конструкции, после чего выбирается наиболее оптимальная схема подключения.

*Расчет заземления:*

В качестве заземлителя выбираем стальную трубу диаметром  $d = 55\text{мм}$ , а в качестве соединительного элемента – стальную полосу шириной  $b = 50\text{мм}$ .

$$R_z = 0,366 \frac{\rho \cdot K_c}{l} \left( \lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + l}{4t - l} \right)$$

где  $\rho = 70\text{Ом}$  - удельное сопротивление грунта,

$\hat{E}_n = 2,0$  - коэффициент сезонности,

$l = 2,7\text{ м}$  - длина заземлителя,

$d = 55\text{мм}$  - диаметр заземлителя,

$t = h + 0,5l = 0,65 + 0,5 \cdot 2,7 = 2\text{ м}$  - расстояние от поверхности грунта до середины заземлителя.

$$R_z = 0,366 \frac{70 \cdot 2}{2,7} \left( \lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,055} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2 + 2,7}{4 \cdot 2 - 2,7} \right) = 40,62\text{ Ом}.$$

Рассчитываем число заземлителей без учета взаимных помех,

оказываемых заземлителями друг на друга, так называемого явления взаимного “экранирования”.

$$n' = \frac{R_3}{R_{3н}}$$

$$n' = \frac{40,62}{4} = 10,15 \approx 10.$$

Рассчитываем число заземлителей с учетом коэффициента экранирования

$$n = \frac{n'}{\eta_3}$$

$$n = \frac{10}{0,58} = 17,24 \approx 19$$

где  $\eta_3 = 0,58$  - коэффициент экранирования.

Принимаем расстояние между заземлителями  $a = l = 2,7 \text{ м}$

Определяем длину соединительной полосы

$$l_{II} = 1,05 \cdot n \cdot a.$$

$$l_{II} = 1,05 \cdot 18 \cdot 2,7 = 51,03 \text{ м}.$$

Рассчитываем полное значение сопротивления растеканию тока с соединительной полосы

$$R_{II} = 0,366 \frac{\rho \cdot K_c}{l_{II}} \lg \frac{2 \cdot l_{II}^2}{b \cdot h}.$$

$$R_{II} = 0,366 \frac{70 \cdot 2}{51,09} \lg \frac{2 \cdot 51,03^2}{0,05 \cdot 0,65} = 5,2 \text{ Ом}.$$

Рассчитываем полное значение сопротивления системы заземления

$$R_{3y} = \frac{R_3 \cdot R_n}{R_3 \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_3 \cdot n}$$

$$R_{3y} = \frac{40,62 \cdot 5,2}{40,62 \cdot 0,51 + 5,2 \cdot 0,58 \cdot 18} = 2,82 \text{ Ом}.$$

где  $\eta_i = 0,61$  - коэффициент экранирования полосы

Вывод: сопротивление  $R_{3y} = 2,92 \text{ Ом}$  меньше допускаемого сопротивления, равно  $6 \text{ Ом}$ . Следовательно, диаметр заземлителя  $d = 55 \text{ мм}$  при числе заземлителей  $n = 19$  является достаточным.

### 13.1 Система молниезащиты производственных помещений

Устройство системы молниезащиты здания или сооружения любого типа наглядно представлено на рисунке 20.

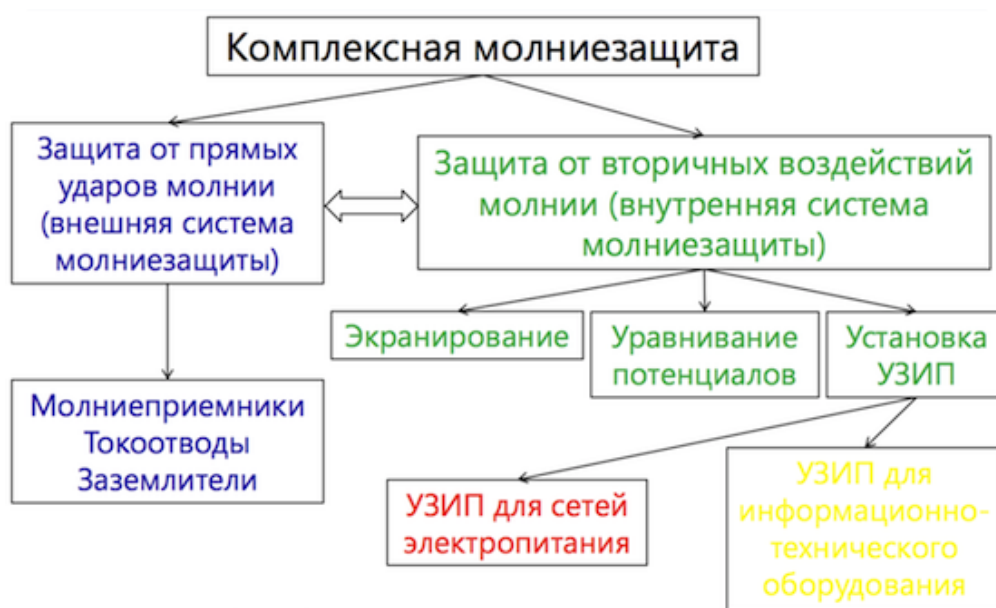


Рисунок 20 - Устройство системы молниезащиты

Задачи системы внешней молниезащиты:

- перехват молнии посредством молниеприемника
- безопасный отвод тока молнии к земле через токоотводы
- рассеивание заряда в грунте устройством заземления

Функции внутренней молниезащиты:

- уменьшение разности потенциалов, вызванной током молнии
- предотвращение опасного искрения внутри здания

Такая система молниезащиты представляет собой комплекс технических решений и специальных приспособлений, обеспечивающих сохранность защищаемых объектов, а также безопасность находящихся внутри этих объектов людей и неповреждаемость электрических и электронных частей оборудования от прямых ударов молнии.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе были рассчитаны:

-нагрузка механического цеха методом коэффициента расчетной мощности;

-суммарная расчетная нагрузка предприятия с учетом потерь в трансформаторах ГПП и высоковольтных линиях.

Результаты расчета нагрузок применялись для построения картограммы и определения центра электрических нагрузок для нахождения оптимального места расположения ГПП.

Предприятие относится к потребителям II категории надежности электроснабжения. Поэтому снабжение электроэнергией предприятия осуществляется на напряжении 110 кВ двухцепной воздушной линией. На ГПП установлены два трансформатора марки ТДН-10000/110. В качестве схемы ГПП была выбрана схема 6Н – два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой.

Выбрана надежная коммутационная аппаратура. Данные технические решения позволяют обеспечить отключение потребителей в случае короткого замыкания или при необходимых оперативных переключениях. Рассчитана и выбрана релейная защита силового трансформатора подстанции, отходящих линий и коммутационных аппаратов.

Рассчитана релейная защита и автоматика главной понизительной подстанции. Оборудование для защиты элементов схемы электроснабжения от поражающих воздействий токов короткого замыкания выбрано с учетом всех современных требований по надежности, быстродействию, простоте конструкции и экономичности.

Рассчитанные параметры схемы электроснабжения предприятия позволяют обеспечить надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей. Поставленная цель выпускной квалификационной работы достигнута.

## Список используемых источников

1. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение зданий и сооружений. М.: ФОРУМ; НИЦ ИНФРА-М, 2012.
2. Вахнина В.В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб. метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н.Черненко. - Тольятти: ТГУ, 2015.
3. Вахнина В.В. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н.Черненко, Т.А. Рыбалко. - Тольятти: ТГУ, 2015.
4. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс]: электрон. учеб. метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н.Черненко. - Тольятти: ТГУ, 2016.
5. Дубинский, Г. Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением выше 1000В / Г.Н. Дубинский, Л.Г. Левин. - М.: Солон-Пресс, 2019. - 539 с.
6. Дубинский, Г. Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением до 1000 В / Г.Н. Дубинский, Л.Г. Левин. - М.: Солон-Пресс, 2016. - 600 с.
7. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию, практическое пособие - 9-е изд., перераб. и доп. -М. Высш.шк., 2011 -160с.
8. Низковольтные автоматические выключатели: учебное пособие / А.В. Кабышев, Е.В. Тарасов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 366с.
9. Вводно-распределительные устройства серии ВРУ-1 ГОСТ Р 51321.1- 2000. Каталог «Стандарт Энерго», - 2013. – 51с.
10. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Учебное пособие и справочные материалы для курсового и дипломного проектирования – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – 269с.
11. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов

промышленных предприятий. М.: КНОРУС, 2011.

12. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания – М: Изд-во Форум, 2019, - 120 с.

13. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие для среднего профессионального образования / Е.А. Конюхова. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 320 с.

14. Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения

15. Мельников М. А. Внутривзаводское электроснабжение: Учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.

16. Мельников М. А. Внутрицеховое электроснабжение: Учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2002

17. Сибикин, Ю. Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учеб. пособие / Ю.Д. Сибикин. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. - 396 с.

18. Справочник по проектированию электрических сетей / Под редакцией Д.Л. Файбисовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2016. – 352 с.: ил.

19. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под общей редакцией А.А. Федорова – М: Изд-во ДЕАН, 2016.

20. Справочная книга для проектирования электрического освещения. / Под ред. Г.Б. Кнорринга. – М.: Энергия, 2016

21. Самгин Э.Б. Освещение рабочих мест. – М.: МИРЭА, 2009. –196с.

22. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1299–03. Естественное и искусственное освещение.

23. СанПиН 2.2.6.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.

24. СП 31-110—2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. Госстрой России, 2003.

25. Справочник по энергосбережению и электрооборудованию

промышленных предприятий и общественных зданий // С. И. Гамазин, Б.И. Кудрин, С.А. Цырук. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.

26. Проектирование систем электроснабжения: практикум по курсовому проектированию / сост. Ю. П. Свиридов. – Ульяновск : УлГТУ, 2016. – 60 с.

27. Правила устройства электроустановок - 9 изд. СПб.: Издательство ДЕАН, 2016 - 906 с.

28. Вакуумные выключатели ВВ/TEL среднего класса напряжения 6–20 кВ. Каталог «Таврида Электрик», 2016. – 16с.

29. Пункты распределительные ПР11. Номенклатурный каталог «Стандарт Энерго», 2016. – 9с.

30. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1996.

31. Шеховцов В.П. «Расчет и проектирование схем электроснабжения. Метод. пособие для курсового проектирования», Изд. 2. Изд.: Форум, 2019.

32. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов - М.: Форум, Инфра-М, 2016. - 136 с.

33. Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования : ВСН 59—99 / Госкомархитектуры. М.: ГУП ЦПП, 2009.

34. Электроснабжение и электрооборудование цехов / Э.А. Киреева, В.И. Григорьев, В.А. Миронов [и др.]. М.: Энергоатомиздат.