

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

Институт Энергетический  
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проектирование системы электроснабжения машиностроительного завода</b>
УДК 621.31.031.0016:621.002(571.1)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Д	Санина Александра Игоревна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭПП	Кабышев Александр Васильевич.	д.ф-м.н. профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Трофимова Маргарита Николаевна	доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Панин Владимир Филиппович	д.т.н., профессор		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроснабжение промышленных предприятий	Завьялов Валерий Михайлович	д.т.н., доцент		

Томск – 2016 г

## Введение

В данной курсовой работе рассматривается электроснабжение машиностроительного завода с подробным рассмотрением цеха твердой изоляции. Целью является проверка знаний усвоенных на дисциплинах, предусмотренных учебным планом, и формирование способности находить решение практическим вопросам проектирования системы электроснабжения промышленного предприятия. В составе машиностроительного завода находятся 16 различных цехов, каждый из них выполняет отведенную ему роль. По степени надежности электроснабжения данные цеха относятся ко второй категории, прерывание работы электроприемников может повлечь за собой недоотпуск продукции.

Процесс выполнения курсовой работы предусматривает следующие этапы:

1 этап: расчет нагрузки цеха твердой изоляции методом коэффициента спроса. Целью этого этапа является закрепление навыков использования упомянутого метода расчета.

2 этап: определение расчетной нагрузки предприятия. Расчет ведется по значениям активной и реактивной нагрузок цехов с учетом расчетной осветительной нагрузки, потерь мощности в линиях, трансформаторах цеховых подстанций и ГПП.

3 этап: построение картограммы электрических нагрузок. Цель построения - определение наиболее оптимального места расположения ГПП на территории предприятия.

4 этап: расчет схемы внутривзаводского электроснабжения. На этом этапе производится выбор числа и мощности цеховых ТП и схемы их электроснабжения.

5 этап: определение напряжения питающей сети предприятия, выбор сечения проводов, мощности трансформаторов главной понизительной подстанции.

6 этап: расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000В. Производится для проверки выбора сечений проводников

На заключительном, 7 этапе, выполняется расчет электроснабжения цеха твердой изоляции. Данный этап охватывает рассмотрение таких вопросов как:

- распределение ЭП по пунктам питания;
- определение расчетных нагрузок по пунктам питания;
- выбор сечений питающей сети;
- выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты;
- построение эпюр отклонений напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП;
- расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000В (производится для того, чтобы можно было построить карту селективности действия защитных аппаратов).

## 1. Исходные данные

Исходными данными на проектирование являются:

- генплан машиностроительного завода (изображен на рисунке 1);
- сведения об электрических нагрузках машиностроительного завода (таблица 1);
- генплан цеха твердой изоляции (рисунок 2);
- сведения об электрических нагрузках цеха твердой изоляции (таблица 2).
- 

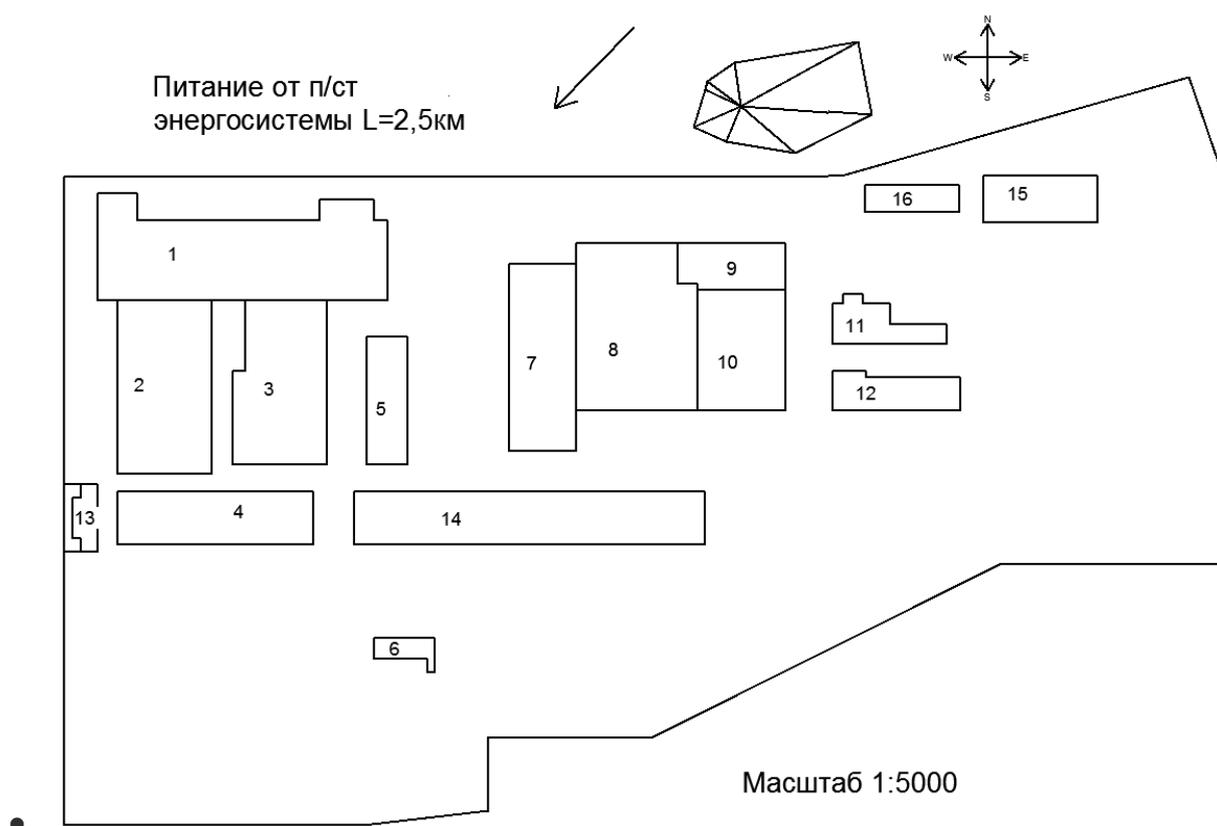


Рисунок 1. – Генплан машиностроительного завода

Таблица 1. – Сведения об электрических нагрузках машиностроительного завода

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

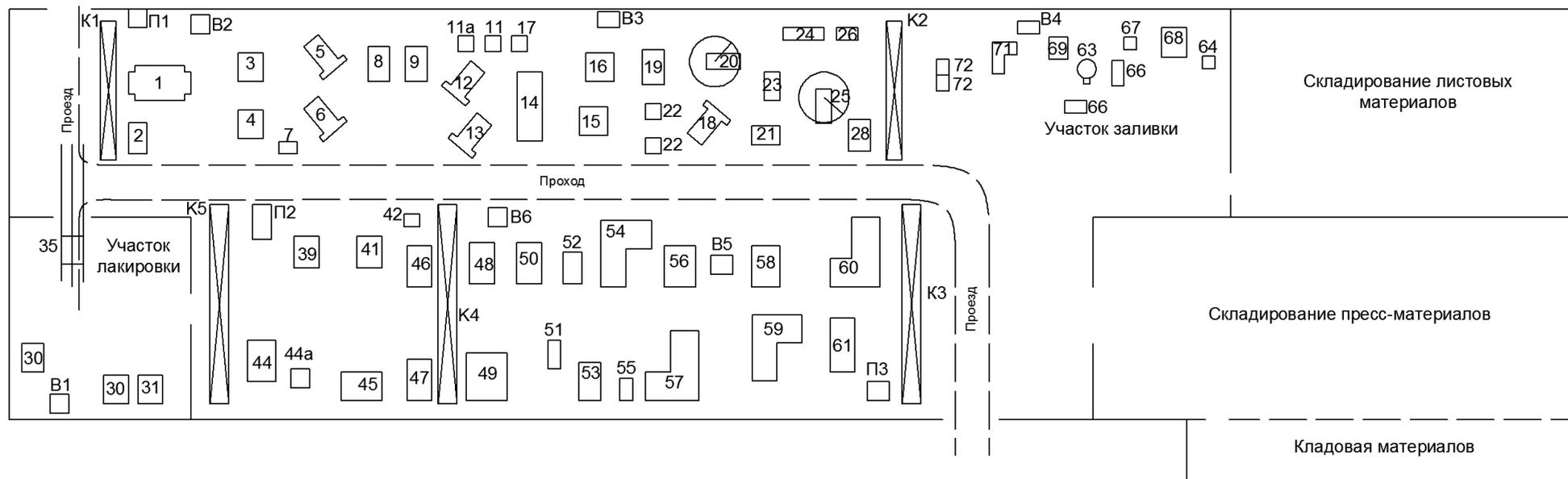


Рисунок 2. – План цеха твердой изоляции

Таблица 2 – Сведения об электрических нагрузках цеха твердой изоляции

№	Наименование цеха	Мощность, кВт
1	Станок специальный для резки	5,5
2	Дисковая пила	5,5
К1	Кран-балка	9
3	Дисковая пила с водяным охлаждение	4
4	Дисковая пила	5,5
5	Горизонтально-фрезерный станок	9,1
6	Вертикально-фрезерный станок	8,8
7	Вертикально-сверлильный станок	3,5
8,9	Вертикально-сверлильный станок	4,6
11а	Заточный станок	0,5
11	Станок с абразивным кругом	0,5
12	Вертикально-фрезерный станок	13
13	Горизонтально-фрезерный станок	9,6
14	Дисковая пила	23,5
15	Токарно-винторезный станок	4,2
16	Токарно-винторезный станок	13
22,22а	Вертикально-сверлильный станок	2,5
19	Токарно-винторезный станок	13
20	Радиально-сверлильный станок	7,5
21	Реверсивный станок н/столе	1,1
23	Лобзиковая пила	1,5
24	Галтовочный барабан	1,5
25	Радиально-сверлильный станок	2,5
26	Настольно-сверлильный станок	0,4
К2	Кран-балка	9,0
28	Элеваторный стеллаж	2,2
18	Горизонтально-фрезерный станок	9,6
35	Управление электрической тележкой	1,0
39	Станок с нагревательной плитой	2
41	Пресс кривошипный	4,5
42	Точильно-шлифовальный	0,5
44	Ножницы гильот.	5,6
К3	Кран-балка	9
К4,К5	Кран-балка	14
54	Пресс гидравлический	26
56	Пресс гидравлический	8

Продолжение таблицы 2.

№	Наименование цеха	Мощность, кВт
58	Пресс гидравлический	15.5
60,59,57	Пресс гидравлический	15
61	Пресс гидравлический	35
60,59,57	Пресс гидравлический	15
61	Пресс гидравлический	35
55	Пресс гидравлический	31.5
46,48,50	Пресс гидравлический	8
52	Пресс гидравлический	31.5
53	Пресс гидравлический	25.5
51	Пресс гидравлический	15.5
49	Пресс гидравлический	27
47	Пресс гидравлический	8
30,31	Электродпечь	50
45	Электродпечь	43
45а	Индуктор	50
63	Установка для приготовления компаунда	1,6
67	Вакуумный насос	3,0
64	Компрессор	24
68	Электродпечь	24
66	Центробежный станок	9
69	Литьевая машина	17
71	Установка для плавления капрона	35
72	Термостат	12
В1-В6	Вытяжной вентилятор	6,2
П1-П3	Приточный вентилятор	15

## 2. Расчет и аналитика

В данной работе рассматривается электроснабжение машиностроительного завода. В целом завод состоит из 16 производственных помещений, к которым относятся производственные и вспомогательные цеха, а также административный корпус.

Характеристики внешней среды влияют как на конструктивное исполнение оборудования, так и на выбор марки и сечений проводов, кабелей, аппаратов защиты. Для производственного процесса рассматриваемого предприятия характерны нормальные условия, но некоторые из отделений цехов завода можно отнести к жарким и влажным помещениям. Характеристики среды цехов предприятия представлены в таблице 3. Перерыв электроснабжения ЭП производства машиностроительного завода может привести к массовому недоотпуску продукции и простоям людей, вследствие чего ЭП основного производства можно отнести ко второй категории. Классификация электроприемников машиностроительного завода по категориям электроснабжения приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика производственных помещений

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

### 3. Определение расчетной электрической нагрузки цеха твердой изоляции

Проведем анализ цеха твердой изоляции с целью осуществления подходящей схемы электроснабжения. Приемники связаны единым технологическим процессом. Теоретически для электроснабжения такого производства можно использовать магистральную схему, но из-за низкой мощности отдельных электроприемников ставить магистральные шинопроводы нецелесообразно в виду их недогруженности. Таким образом, останавливаю свой выбор на радиальной сети. Питание распределительных пунктов обеспечивается кабельными линиями с крепление к стене. Прокладка кабеля от шкафа к ЭП будет проводится в полу.

Таблица 4. Число и номинальная мощность оборудования.

Номер на плане	Наименование электроприемника	Число и мощность ЭП, кВт(кВА)	Ки	cos(φ)
1	Станок специальный для резки	5,5	0,13	0,5
2	Дисковая пила	5,5		
К1	Кран-балка	9		
3	Дисковая пила с водяным охлаждение	4		
4	Дисковая пила	4		
5	Горизонтально-фрезерный станок	9,1		
6	Вертикально-сверлильный станок	8,8		
7	Вертикально-сверлильный станок	3,5		
8,9	Вертикально-сверлильный станок	2*4,6		
11а	Заточный станок	0,5		
11	Станок с абразивным кругом	0,5		
12	Вертикально-фрезерный станок	13		
13	Горизонтально-фрезерный станок	9,6		
14	Дисковая пила	23,5		
15	Токарно-винторезный станок	4,2		
16	Токарно-винторезный станок	2,5		
22, 22а	Вертикально-сверлильный станок	2*2,5		
19	Токарно-винторезный станок	13		
20	Радиально-сверлильный станок	7,5		
21	Реверсивный станок н/столе	1,1		
23	Лобзиковая пила	1,5		
24	Галтовочный барабан	1,5		
25	Радиально-сверлильный станок	2,5		
26	Настольно-сверлильный станок	0,4		
К2	Кран-балка	9		
28	Элеваторный стелаж	2,2		
18	Горизонтально-сверлильный станок	9,6		

Продолжение таблицы 4.

Номер на плане	Наименование электроприемника	Установленная мощность ЭП, кВт	Ки	cos(φ)
35	Управление электрической тележной	1	0,13	0,5
39	Станок с нагр. плитой	2		
41	Пресс кривошипный	4,5		
42	Точильно-шлифовальный	0,5		
44	Ножницы гильот.	5,6		
К3	Кран-балка	9		
К4,К5	Кран-балка	2*14		
54	Пресс гидравлический	26		
56	Пресс гидравлический	8		
58	Пресс гидравлический	15,5		
60	Пресс гидравлический	16		
61	Пресс гидравлический	35		
57,59	Пресс гидравлический	2*15		
46-48,50	Пресс гидравлический	4*8		
52,55	Пресс гидравлический	2*31,5		
53	Пресс гидравлический	25,5		
51	Пресс гидравлический	15,5		
49	Пресс гидравлический	27	0,8	0,95
30,31	Электродпечь	2*50		
45	Электродпечь	43	0,7	0,8
45а	Индуктор	50		
63	Установка для приготовления компаунда	1,6	0,75	0,8
67	Вакуумный насос	3,0	0,7	0,8
64	Компрессор	24		0,85
68	Электродпечь	24	0,75	0,95
66	Центробежный станок	9	0,75	0,85
69	Литьевая машина	17	0,6	0,6
71	Установка для плавления капрона	35	0,75	0,85
72	Термостат	12	0,6	0,6
В1-В6	Вытяжной вентилятор	6,2	0,75	0,85
П1-П3	Приточный вентилятор	15		

Пример расчета значения коэффициента расчетной нагрузки

из таблицы

3.3. по формуле:

$K_p$

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

$$K_{II} = x; K_p = y;$$

$$x_1 = 0,; x_2 = 0,4;$$

$$y_1 = 1,23; y_2 = 1,12$$

$$y = 1,23 - \frac{1,23 - 1,12}{0,4 - 0,3} \cdot (0,338 - 0,3) = 1,19;$$

$$K_p = 1,19;$$

### Расчет осветительной нагрузки.

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по коэффициенту спроса и установленной мощности:

$$P_{po} = P_{но} \cdot K_{co}$$

$K_{co}$  принимаем равным 0.95 [табл.ПЗ.1]. Величину  $P_{но}$  находим как:

$$P_{но} = P_{уд} \cdot F$$

Удельную плотность осветительной нагрузки принимаем  $15 \frac{Вт}{м^2}$  [табл.ПЗ.2]

$F = 14100 м^2$  – площадь цеха .

Номинальная мощность осветительной нагрузки:

$$P_{но} = 15 \cdot 10^{-3} \cdot 14100 = 211,5 кВт;$$

Расчетная максимальная нагрузка от электрического освещения:

$$P_{po} = 0,95 \cdot 211,5 = 200,925 кВт$$

Таблица 5 Сводная ведомость нагрузок по цеху

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ								Расчетные величины			Эффективное число ЭП, пэ	Коэффициент расчетной нагрузки, Кр	Расчетная мощность и ток				
По заданию технологов					По справочным данным			Ки·Pн	Ки·Pн·tg(φ)	n·Pн <sup>2</sup>			Pp=Kp·∑Ки·Pн	Qp=1,1·Ки·Pн·tg(φ) при nэ<10	Qp=Ки·Pн·tg(φ) при nэ>10	Sp = √(Pp <sup>2</sup> + Qp <sup>2</sup> )	Ip = Sp / √3 · Un
№ ЭП	Наименование ЭП	Количество ЭП n, шт.	Установленная мощность, кВт		Коэффициент использования	Коэффициенты реактивной мощности											
			Одного ЭП, рн	Общая Pн=прн		Ки	cos(φ)	tg(φ)	кВт	кВар	кВА	А					
ПП-1																	
1	Станок специальный для резки	1	5,5	5,5	0,13	0,5	1,73	0,71	1,236	30,2							
2,4	Дисковая пила	2	5,5	11	0,13	0,5	1,73	1,43	2,474	60,5							
К1	Кран-балка	1	9	9	0,13	0,5	1,73	1,17	2,024	81							
3	Дисковая пила с в-м охлаждением	1	4	4	0,13	0,5	1,73	0,52	0,899	16							
6	Вертикально фрезерный станок	1	8,8	8,8	0,13	0,5	1,73	1,14	1,979	77,4							
7	Вертикально-сверлильный станок	1	3,5	3,5	0,13	0,5	1,73	0,45	0,787	12,2							
В2	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2	0,75	0,85	0,62	4,65	2,883	38,4							
П1	Приточный вентилятор	1	15,0	15,0	0,75	0,85	0,62	11,2	6,975	225							
	<b>Итого по ПР-1</b>	<b>9</b>	<b>3,5-15</b>	<b>63</b>	<b>0,338</b>			<b>21,3</b>	<b>19,25</b>	<b>510</b>	<b>7</b>	<b>1,19</b>	<b>25,3</b>	<b>21,175</b>	<b>32,99</b>	<b>50,68</b>	

Продолжение таблицы 5 Сводная ведомость нагрузок по цеху

ПП-2																
5	Горизонтально-фрезерный станок	1	9,1	9,1	0,13	0,5	1,73	1,183	2,046	82,81						
8,9	Вертикально-сверлильный станок	2	4,6	9,2	0,13	0,5	1,73	1,196	2,069	42,32						
11	Станок абразивным кругом <sup>с</sup>	1	0,5	0,5	0,13	0,5	1,73	0,065	0,112	0,25						
11а	Заточный станок	1	0,5	0,5	0,13	0,5	1,73	0,065	0,112	0,25						
12	Вертикально-фрезерный станок	1	13	13	0,13	0,5	1,73	1,69	2,923	169						
13	Горизонтально-фрезерный станок	1	9,6	9,6	0,13	0,5	1,73	1,248	2,159	92,16						
	<b>Итого по ПР2</b>	<b>7</b>	<b>0,5-13</b>	<b>41,9</b>	<b>0,13</b>			<b>5,447</b>	<b>9,42</b>	<b>386,7</b>	<b>4</b>	<b>2,70</b>	<b>14,74</b>	<b>10,36</b>	<b>18,01</b>	<b>27,257</b>
ПП-3																
14	Дисковая пила	1	23,5	23,5	0,13	0,5	1,73	3,05	5,285	552						
15	Токарно-винтовой станок	1	4,2	4,2	0,13	0,5	1,73	0,546	0,944	17,64						
16,19	Токарно-винторезный станок	2	13	26	0,13	0,5	1,73	3,38	5,847	338						
18	Горизонтально фрезерный станок	1	9,6	9,6	0,13	0,5	1,73	1,248	2,159	92,16						
20	Радиально-сверлильный станок	1	7,5	7,5	0,13	0,5	1,73	0,975	1,686	33,75						
22,22а	Вертикально-сверлильный станок	2	2,5	5	0,13	0,5	1,73	0,65	1,125	12,5						
ВЗ	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2	0,75	0,85	0,62	4,65	2,883	38,44						
	<b>ПРЗ</b>	<b>9</b>	<b>2,5-23,5</b>	<b>82</b>	<b>0,176</b>			<b>14,5</b>	<b>19,93</b>	<b>1107,24</b>	<b>6</b>	<b>1,78</b>	<b>25,85</b>	<b>21,92</b>	<b>33,89</b>	<b>51,88</b>

Продолжение таблицы 5. Сводная ведомость нагрузок по цеху

ПП-4																	
21	Реверсивный станок на столе	1	1,1	1,1	0,75	0,85	0,62	0,825	0,511 5	1,21							
23	Лобзиковая пила	1	1,5	1,5	0,13	0,5	1,73	0,19	0,337	2,25							
24	Галтовочный барабан	1	1,5	1,5	0,13	0,5	1,73	0,195	0,337	2,25							
25	Радиально-сверлильный станок	1	2,5	2,5	0,13	0,5	1,73	0,325	0,562	6,25							
26	Настольно-сверлильный станок	1	0,4	0,4	0,13	0,5	1,73	0,052	0,089	0,16							
28	Элеваторный стелаж	1	2,2	2,2	0,13	0,5	1,73	0,28	0,487	4,84							
72	Термостат	2	12,0	24,0	0,6	0,6	1,33	14,4	19,15	288							
К2	Кран-балка	1	9,0	9,0	0,13	0,5	1,73	1,17	2,02	81							
	<b>ПП4</b>	<b>9</b>	<b>0,4-12</b>	<b>42,2</b>	<b>0,413</b>			<b>17,44</b>	<b>23,49</b>	<b>385,96</b>	<b>4</b>	<b>1,25</b>	<b>21,7</b>	<b>25,844</b>	<b>33,75</b>	<b>34,38</b>	
ПП-6																	
30,31	Электропечь	3	50,0	150,0	0,8	0,95	0,33	120	39,6	7500							
35	Управление эл. тележкой	1	1,0	1,0	0,13	0,5	1,73	0,13	0,225	1							
В1	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2	0,75	0,85	0,62	4,65	2,883	38,44							
44	Ножницы гильот	1	5,6	5,6	0,13	0,5	1,73	0,728	1,259	31,36							
44а	Индуктор	1	50	50	0,7	0,8	0,75	35	26,25	250							
К5	Кран-балка	1	14	14	0,13	0,5	1,73	1,82	3,148	196							
П2	Приточный вентилятор	1	15,0	15,0	0,75	0,85	0,62	11,25	6,975	225							
	<b>ПР 6</b>	<b>10</b>	<b>1-50</b>	<b>241,8</b>	<b>0,717</b>			<b>173,5 78</b>	<b>80,34</b>	<b>8241,8</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>173, 578</b>	<b>88,374</b>	<b>194,7 8</b>	<b>295,9 4</b>	

Продолжение таблицы 5. Сводная ведомость нагрузок по цеху

ПП-9																
39	Станок с нагр-й плитой	1	2,0	2,0	0,13	0,5	1,73	0,26	0,449	4						
41	Пресс кривошипный	1	4,5	4,5	0,13	0,5	1,73	0,585	1,01	20,25						
42	Точильно-шлифовальный	1	0,5	0,5	0,13	0,5	1,73	0,065	0,112	0,25						
46-48,50	Пресс гидравлический	4	8,0	32,0	0,13	0,5	1,73	4,16	7,19	256						
В 6	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2	0,75	0,85	0,62	4,65	2,883	38,4						
К4	Кран-балка	1	14	14	0,13	0,5	1,73	1,82	3,148	196						
	<b>Итого ПР7</b>	<b>9</b>	<b>0,5-14</b>	<b>59,2</b>	<b>0,195</b>			<b>11,54</b>	<b>14,79</b>	<b>514,9</b>	<b>6</b>	<b>1,654</b>	<b>19,08</b>	<b>16,269</b>	<b>19,35</b>	<b>29,4</b>
ПП-8																
49	Пресс гидравлический	1	27,0	27,0	0,13	0,5	1,73	3,51	6,07	729						
51	Пресс гидравлический	1	15,5	15,5	0,13	0,5	1,73	2,015	3,485	240,25						
52,55	Пресс гидравлический	2	31,5	63	0,13	0,5	1,73	8,19	14,168	1984,5						
53	Пресс гидравлический	1	25,5	25,5	0,13	0,5	1,73	3,315	5,734	650,25						
56	Пресс гидравл.	1	8,0	8,0	0,13	0,5	1,73	1,04	1,799	64						
57	Пресс гидравл.	1	15	15	0,13	0,5	1,73	1,95	3,373	225						
56	Пресс гидравл.	1	26	26	0,13	0,5	1,73	3,38	5,85	676						
	<b>Итого по ПР8</b>	<b>8</b>	<b>8,0-31,5</b>	<b>180</b>	<b>0,13</b>			<b>23,4</b>	<b>40,5</b>	<b>4569</b>	<b>7</b>	<b>2,112</b>	<b>49,42</b>	<b>44,55</b>	<b>66,53</b>	<b>89,2</b>

Продолжение таблицы 5 Сводная ведомость нагрузок по цеху

ПП-5																
58	Пресс гидравл.	1	15,5	15,5	0,13	0,5	1,73	2,015	3,485	240,25						
59,60	Пресс гидравл.	2	15	30,0	0,13	0,5	1,73	3,9	6,747	450						
61	Пресс гидравл.	1	35	35	0,13	0,5	1,73	4,55	7,87	1225						
В5	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2	0,75	0,85	0,62	4,65	2,883	38,44						
ПЗ	Приточный вентилятор	1	15,0	15,0	0,75	0,85	0,62	11,25	6,975	225						
КЗ	Кран-балка	1	9,0	9,0	0,13	0,5	1,73	1,17	2,024	81						
	<b>Итого по ПР9</b>	<b>7</b>	<b>6,2-35</b>	<b>110,7</b>	<b>0,2487</b>			<b>27,53</b>	<b>29,98</b>	<b>2259,7</b>	<b>5</b>	<b>1,54</b>	<b>42,47</b>	<b>32,98</b>	<b>53,77</b>	81,7
ПП-5																
63	Установка для п-я компаунда	1	1,6	1,6	0,75	0,8	0,75	1,2	0,9	2,56						
64	Компрессор	1	24	24	0,7	0,85	0,62	16,8	10,41	576						
66	Центробежный станок	1	9,0	9,0	0,75	0,85	0,62	6,75	4,185	81						
67	Вакуумный насос	1	3,0	3,0	0,7	0,8	0,75	2,1	1,596	9						
68	Электродпечь	1	24,0	24,0	0,75	0,95	0,33	18	5,94	576						
69	Литьевая машина	1	17,0	17,0	0,6	0,6	1,33	10,2	13,57	289						
71	Установка для плавления капрона	1	35	35	0,75	0,85	0,62	26,25	16,275	1225						
В4	Вытяжной вентилятор	1	6,2	6,2	0,75	0,85	0,62	4,65	2,883	38,44						
	<b>Итого по ПР 5</b>	<b>8</b>	<b>1,6-35</b>	<b>119,8</b>	<b>0,717</b>			<b>85,9</b>	<b>55,74</b>	<b>2797</b>	<b>5</b>	<b>0,93</b>	<b>80,5</b>	<b>61,32</b>	<b>101,2</b>	<b>153,7</b>
	Итого по сумме Пр	76	0,5-50	940,6	0,4			380,7	293,46	20773	51	0,7	263,4	376,2	554,2	814,14
	Осветительная нагрузка			35,625	$K_{co} = 0,95$								33,8			
	Итогу по РУ НН			976,22									297,2	376,2	554,2	814,14

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

### 5. Определение расчётной нагрузки предприятия в целом

Расчётная нагрузка:

$$P_p = K_c \cdot P_n;$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

$K_c$  – коэффициент спроса.

$\operatorname{tg} \varphi$  – принимается в зависимости от коэффициента мощности;

Пример расчетов для гидрокорпуса:

$$P_p = K_c \cdot P_n = 0,5 \cdot 2600 = 1300 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1300 \cdot 1,33 = 1729 \text{ кВАр}.$$

Номинальная мощность осветительной нагрузки:

$$P_{но} = 15 \cdot 10^{-3} \cdot 14100 = 211,5 \text{ кВт};$$

Расчетная максимальная нагрузка от электрического освещения:

$$P_{po} = 0,95 \cdot 211,5 = 200,925 \text{ кВт}$$

Полная расчетная нагрузка цеха:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p)^2} = \sqrt{(1300 + 211,925)^2 + (1729)^2} = 2296,8 \text{ кВА}.$$

Таблица 6.Расчет силовой нагрузки

№	Наименование помещения	Силовая нагрузка					
		$P_H$	$K_c$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_p$	$Q_p$
		кВт				кВт	кВар
1	Гидрокорпус	2600	0,5	0,6	1,33	1300	1729
2	Трансформаторный корпус	<u>2800</u>	0,4	0,6	1,33	1120	1489,6
3	Корпус крупных машин	2450	0,5	0,8	0,75	1225	918,75
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	900	0,2	0,8	0,75	180	135
5	Изоляционный корпус	750	0,5	0,6	1,33	375	498,75
6	Котельная	1440	0,5	0,8	0,75	720	540
7	Корпус высоковольтного оборудования	880	0,35	0,7	1,02	308	314,1
8	Котельно-сварочный корпус	3500	0,5	0,7	1,02	1750	1785
9	Цех металлопокрытий	2100	0,4	0,65	1,33	840	1117,2
10	Механический корпус	1400	0,3	0,7	1,02	420	428,4
11	Деревообрабатывающий корпус	700	0,4	0,7	1,02	280	285,6
12	Цех твердой изоляции	976,225	0,5	-----	-----	263,4	376,24
13	Инженерный корпус	1400	0,5	0,75	0,88	700	616
14	Цех точного литья	520	0,5	0,75	0,88	260	228,8
15	Корпус А	520	0,9	0,75	0,88	468	411,84
16	Корпус по изготовлению трансформаторного оборудования	1400	0,2	0,6	1,33	280	372,4
	<b>Итого по 0,38 кВ</b>	<b>24336,23</b>				10492,5	11191,56

Таблица 6.1. Расчет силовой нагрузки

№	Наименование помещения	Осветительная нагрузка					Силовая + осв.		
		$F$	$P_{уд}$	$P_{но}$	$K_{co}$	$P_{po}$	$P_p^H =$ $= P_p + P_{po}$	$Q_p$	$S_p$
		м <sup>2</sup>	Вт/ м <sup>2</sup>	кВт		кВт	кВт	кВар	кВа
1	Гидрокорпус	14100	15	211,5	0,95	200,9	1500,925	1729	2289,58
2	Трансформаторный корпус	8750	15	131,25	0,95	124,7	1244,688	1489,6	1941,17
3	Корпус крупных машин	7900	15	118,5	0,95	112,575	1337,575	918,75	1622,7
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	5800	15	87	0,95	82,65	262,65	135	295,31
5	Изоляционный корпус	2100	15	31,5	0,95	29,92	404,925	498,75	642,43
6	Котельная	725	15	10,87	0,95	10,33	730,331	540	908,29
7	Корпус высоковольтного оборудования	7000	15	105	0,95	99,75	407,75	314,16	514,74
8	Котельно-сварочный корпус	10800	14	151,2	0,95	143,64	1893,64	1785	2602,3
9	Цех металлопокрытий	2725	15	40,87	0,95	38,83	878,831	1117,2	1421,4
10	Механический корпус	6300	14	88,2	0,95	83,79	503,79	428,4	661,31
11	Деревообрабатывающий корпус	1650	16	26,4	0,95	25,08	305,08	285,6	417,9
12	Цех твердой изоляции	2375	15	35,62	0,95	33,84	263,4	376,2	554,23
13	Инженерный корпус	975	18	17,55	0,8	14,04	714,04	616	943,03
14	Цех точного литья	9100	15	136,5	0,85	116,025	376,025	228,8	440,16
15	Корпус А	2975	15	44,625	0,8	35,7	503,7	411,84	650,63
16	Корпус по изготовлению трансформаторного оборудования	1500	15	22,5	0,95	21,375	301,375	372,4	479,07
	<b>Итого по заводу</b>	84775		1247,475		1173,16	11662,5	11191,6	16441,5

## 6. Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия

Выбор напряжения питающих и распределительных сетей зависит от мощности, потребляемой заводом, от того на сколько он удален от источника питания, в зависимости от напряжения источника питания, количества и единичной мощности ЭП. Экономически рациональное напряжение питающей линии ГПП можно определить по формуле Илларионова:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{2,5 + \frac{2500}{11,662}}} \approx 49,36 \text{ кВ [1]}$$

где L – расстояние от источника питания, км;

P – передаваемая мощность, равная расчетной нагрузке предприятия, МВт. Принимаем напряжение питающей линии ГПП U= 110 кВ с учетом возможного развития предприятия.

## 7. Расчет нагрузок завода

Электроснабжение машиностроительного завода реализуется от ПС энергосистемы по двум воздушным линиям электропередачи напряжением 110 кВ. Так как используется один источник питания, в целях резервирования выбираем схему внешнего электроснабжения по двум радиальным линиям (ГПП с двумя трансформаторами связи).

Суммарные расчетные активная и реактивная мощности, отнесенные к шинам 6-10 кВ ГПП, определяются из выражений:

$$P_{p\Sigma} = 10492,5 \cdot 0,95 + 1173,17 + 328,83 + 493,3 = 11963,175 \text{ кВт};$$

$$Q_{p\Sigma} = 11191,6 \cdot 0,9 + 1644,15 = 11716,59 \text{ кВар}$$

Приблизительные потери мощности в трансформаторах цеховых ПС и высоковольтной сети можно определить из выражений:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 16441,5 = 328,83 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 16441,5 = 1644,15 \text{ кВар};$$

$$\Delta P_{л} = 0,03 \cdot 16441,5 = 493,3 \text{ кВт};$$

Полная мощность предприятия на шинах 6-10 кВ ГПП

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{\left(P_{p\Sigma}\right)^2 + \left(Q_{p\Sigma}\right)^2} = \sqrt{11963,5^2 + 11716,59^2} = 16894,5 \text{ кВА}$$

Полная расчетная мощность предприятия со стороны ВН трансформаторов ГПП:

$$S_{p\text{ГПП}} = \sqrt{\left(11963,5 + 337,89\right)^2 + \left(11716,59 + 1689,45 - 8247,146\right)^2} = 13332,59 \text{ кВА}$$

Потери мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{T.гшт} = 0,02 \cdot 16894,5 = 337,89 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T.гшт} = 0,1 \cdot 16894,5 = 1689,45 \text{ кВар}$$

$Q_{КУ}$  - мощность компенсирующих устройств;

$$Q_{ку} = 11716,59 - 3469,44 = 8247,146 \text{ кВар};$$

$Q_c$  - максимальное значение реактивной мощности, которая может передаваться из сети

ЭС в сеть завода во время режима наибольших активных нагрузок энергосистемы:

$$Q_c = 0,29 \cdot 11963,6 = 3469,44 \text{ кВар};$$

Для предприятий, расположенных в Сибири:  $\alpha = 0,29$ , если величина напряжения линии, питающей предприятие- 110 кВ;

Реактивной мощности, которая передается из сети энергосистемы, не достаточно для существующей реактивной нагрузки, поэтому в качестве дополнительных источников реактивной мощности необходимо использовать батареи статических конденсаторов и/или синхронные двигатели, установленные на предприятии.

## 8. Построение картограммы нагрузок и определение условного ЦЭН, зоны рассеяния условного центра электрических нагрузок.

Для того, чтобы упростить процедуру нахождения мест расположения ГПП, РП, а также цеховых ТП, на генплане предприятия нагрузки цехов изображаются в виде картограммы электрических нагрузок. Картограмма – это графическое отображение нагрузок цехов, в виде окружностей. Площади данных окружностей соответствуют, в выбранном масштабе, расчетным нагрузкам.

ЦЭН отдельных цехов с распределенной нагрузкой будем определять в соответствии с тем, что, в пределах цеха электрическая нагрузка распределена равномерно по его площади. Тогда, ЦЭН отдельного стоящего цеха будет совпадать с центром масс плоской фигуры, изображающей цех на генплане.

Радиусы окружностей для каждого цеха определяем из выражения:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}},$$

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

$m$  – масштаб для определения площади круга, кВА/мм<sup>2</sup>

Угол сектора ( $\alpha$ ) находим из соотношения полных расчётных и осветительных нагрузок цехов:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{S_{pi}}$$

На генплан завода среднего машиностроения произвольно наносим оси координат и определяем значения  $x_i$  и  $y_i$  отдельно для каждого цеха. Координаты центра электрических нагрузок предприятия  $x_0$  и  $y_0$  определяем по формулам [1]:

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

Таблица 7– Расчётные данные для построения картограммы нагрузок.

№ цеха	Рр.і,кВА	Рро.і,кВт	гі,см	α,град	Xi,м	Yi,м	Рр.і·Xi	Рро.і·Yi
	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1500,925	200,925	0,893	48,19	430	130	645397,8	195120,3
2	1244,688	124,687	0,813	36,06	325	70	404523,6	87128,2
3	1337,575	112,575	0,842	30,298	335	150	448087,6	200636,3
4	262,65	82,65	0,373	113,28	230	110	60409,5	28891,5
5	404,925	29,925	0,464	26,6	305	210	123502,1	85034,2
6	730,331	10,331	0,623	5,09	125	265	91290,8	193536,5
7	407,75	99,75	0,465	88,07	350	355	142712,5	144751,3
8	1893,64	143,64	1,003	27,30	375	425	710115	804797
9	878,831	38,831	0,683	15,9	410	490	360322,8	430629,6
10	503,79	83,79	0,517	59,87	375	500	188921,3	251895
11	305,08	25,08	0,402	29,59	380	625	115930,4	190675
12	263,4	33,843	0,525	23,4	325	595	169097,5	309578,5
13	714,04	14,04	0,615	7,078	225	20	160659	14280,8
14	376,025	116,025	0,447	111,08	230	345	86485,7	129728,6
15	503,7	35,7	0,517	25,51	455	700	229183,5	352590
16	301,375	21,375	0,4	12,34	455	625	137125,6	188359,4
Итого	11662,5	<b>1173,17</b>					4073765	3607632,2

Пример расчетов цеха твердой изоляции:

Радиус окружности:

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

Угол сектора осветительной нагрузки:

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

Определяем параметры нормального закона распределения эмпирическая вероятность:

$$P(X_i) = P(Y_i) = \frac{520,294}{11885,619} = 0,0438$$

Координаты центра электрических нагрузок предприятия:

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

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

Построение зоны рассеяния ЦЭН

Полуоси эллипса:

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x}; \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y}; \quad \text{Где } h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}}; \quad h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}}.$$

$\sigma_x, \sigma_y$  дисперсии случайных координат.

Для цеха твердой изоляции:

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

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

$$h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}} = 0,0032 \quad h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}} = 0,0026;$$

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

Картограмма и центр электрических нагрузок изображен в приложении (Приложение А).

Как видно из рисунка 6, ЦЭН приходится на территорию, занятую цехом №7. По этой причине сдвинем местоположение главной понижающей подстанции (ГПП) влево от цеха.

## 9. Внутривзаводское электроснабжение. Выбор числа и номинальной мощности трансформаторов цеховых ТП напряжением 10/0,4 кВ

Во время выбора числа и мощности ЦТП решают вопрос об величине реактивной мощности, передаваемой через трансформаторы в сеть напряжения до 1000 В, которая будет целесообразна с точки зрения экономических показателей.

Суммарная расчетная мощность конденсаторных батарей низшего напряжения (НБК), которые устанавливаются в цеховой сети, определяют в два этапа:

1. Выявляют экономически оптимальное число цеховых трансформаторов;
2. Определяют дополнительную мощность КБ (для того чтобы снизить потери в трансформаторах и линиях напряжением 6/10 кВ.)

Суммарная расчетная мощность КБ ниже 1 кВ:

$$Q_{БК,Н} = Q_{БК,Н1} + Q_{БК,Н2}$$

где  $Q_{БК, Н1}$  и  $Q_{БК, Н2}$  – суммарные мощности КБ

Предварительный выбор мощности цеховых трансформаторов производится по удельной плотности нагрузки:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}} = \frac{16894,5}{84775} = 0,2 \text{ кВА} / \text{м}^2, ,$$

где  $S_{расч.н}$  – суммарная расчетная мощность предприятия напряжением до 1000 В.;

$F_{ц}$  – площадь всех цехов предприятия.

Для данной плотности нагрузки рекомендуется использовать трансформаторы мощностью 1600кВА.

Минимальное возможное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_{\min} = \frac{P_{расч.н}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр}} + \Delta N = \frac{11662,5}{0,7 \cdot 1600} + \Delta N = 10,41 + \Delta N \text{ шт.},$$

$\Delta N$  – добавка до ближайшего большего целого числа.

Принимаем  $N_{\min} = 11$  шт.,  $\Delta N = 0,59$ .

Экономически оптимальное число трансформаторов определяется удельными затратами на передачу реактивной мощности с учетом постоянных составляющих капитальных затрат:

$$Z^* = \beta_{тр} (Z_{НК} - Z_{ВК}) Z_{ТП} = \beta_{тр} Z_{ТП}^*,$$

где  $Z_{НК}$ ,  $Z_{ВК}$ ,  $Z_{ТП}$  – соответственно усредненные приведенные затраты на низковольтные конденсаторные батареи НК, батареи конденсаторов выше 1000 В ВК и цеховую трансформаторную подстанцию.

Если нет достоверных показателей по стоимости для практических расчетов  $Z_{ТП}^*$  можно

принимать = 0,5 и  $N_{тр.эк}$  определять в зависимости от ( $N_{тр. min}, \Delta N$ ) по кривым рис. 5.6 [2, стр. 111].

Из рис. 5.6 [2] экономически оптимальное число трансформаторов рассчитывается по формуле:

$$N_{тр.эк} = N_{min} + m = 10 + 1 = 11,$$

где  $m$  – дополнительное число трансформаторов.

Активная нагрузка, приходящаяся на один трансформатор:

$$P_1 = \frac{P_{расч.н}}{N} = \frac{11662,5}{10} = 1166,25 \text{ кВт.}$$

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

$$N_i = \frac{P_p + P_{p.o}}{P_1}$$

Таблица 8 – Число трансформаторов в цехе

№ на ген. плане	Наименование потребителя	$P_p + P_o$	$N_{тр}$
1	Гидрокорпус	1500,925	1,26
2	Трансформаторный корпус	1244,688	1,05
3	Корпус крупных машин	1337,575	1,13
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	262,65	0,22
5	Изоляционный корпус	404,925	0,34
6	Котельная	730,3313	0,61
7	Корпус высоковольтного оборудования	407,75	0,34
8	Котельно-сварочный корпус	1893,64	1,6
9	Цех металлопокрытий	878,8313	0,74
10	Механический корпус	503,79	0,42
11	Деревообрабатывающий корпус	305,08	0,26
12	Цех твердой изоляции	297,2	0,43
13	Инженерный корпус	714,04	0,6
14	Цех точного литья	376,025	0,31
15	Корпус А	503,7	0,43
16	Корпус по изготовлению трансформаторного оборудования	301,375	0,26

Данное техническое решение не удовлетворяет требованиям по снабжению цехов и загрузки трансформаторов. Поскольку количество цехов равно 16 и большинство из них вторая категория по надежности электроснабжения, данным набором и расстановкой трансформаторов невозможно обеспечить требуемую надежность электроснабжения.

Необходимо увеличить число трансформаторов. Принимаем трансформаторы двух разные номиналов  $S_{ном.т} = 630кВА$   $S_{ном.т} = 1600кВА$ . В зависимости от номинальной мощности потребителя и расположения на ген плане предприятия определяем распределения номиналов мощностей трансформаторов, как:

Номинальная мощность трансформатора	$S_{ном.т} = 1600кВА.$	$S_{ном.т} = 630кВА$
№ цеха на ген. Плана предприятия	1,2,3,6,8,9,13	4,5,7,10,11,12,14,15,16
Суммарная мощность	8300	3362,5

Минимальное число трансформаторов цеховых ТП

$$N_{\min 630} = \frac{P_{расч.НН}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр.}} = \frac{3362,5}{0,7 \cdot 630} = 7,6 \quad \text{Принимаем } N_{\min 630} = 8$$

$$N_{\min 1600} = \frac{P_{расч.НН}}{\beta_{тр} \cdot S_{ном.тр.}} = \frac{8300}{0,7 \cdot 1600} = 7,4 \quad \text{Принимаем } N_{\min 1600} = 8$$

$$P_1^{630} = \frac{P_{расч.НН}^{630}}{N_{\min}} = \frac{3362,5}{8} = 420,31кВт \quad P_1^{1600} = \frac{P_{расч.НН}^{1600}}{N_{\min}} = \frac{8300}{8} = 1037,5кВт$$

Таблица 9. Число трансформаторов в цехе ( $S_{ном.т} = 1600кВА.$ )

№ на ген. плане	Наименование потребителя	$P_p + P_o$	$N_{тр}$
1	Гидрокорпус	1500,925	1,44
2	Трансформаторный корпус	1244,688	1,19
3	Корпус крупных машин	1337,575	1,28
6	Котельная	730,3313	0,7
8	Котельно-сварочный корпус	1893,64	1,825
9	Цех металлопокрытий	878,8313	0,847
13	Инженерный корпус	714,04	0,69

Таблица 9,1. Число трансформаторов в цехе ( $S_{ном.т} = 630кВА$ )

№ на ген. плане	Наименование потребителя	$P_p + P_o$	$N_{тр}$
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	262,65	0,62
5	Изоляционный корпус	404,925	0,96
7	Корпус высоковольтного оборудования	407,75	0,97
10	Механический корпус	503,79	1,2
11	Деревообрабатывающий корпус	305,08	0,73
12	Цех твердой изоляции	297,2	0,7
14	Цех точного литья	376,025	0,9
15	Корпус А	503,7	1,2
16	Корпус по изготовлению трансформаторного оборудования	301,375	0,71

Результаты выбора трансформаторов приведены в таблице 10.

Расставляемые трансформаторы марки ТМ – Т – трехфазный, М – масляное охлаждение с естественной циркуляцией масла и воздуха, выбираем из пособия[1].

Таблица 10 – Число трансформаторов в цехе

Наименование	Стр, количество	Расположение	Потребители	$K_3$
ТП1	2x1600	Цех 1	1,9	0,741
ТП2	2x1600	Цех 2	2,13	0,710
ТП3	2x1600	Цех 3	3,6	0,692
ТП7	2x630	Цех 7	7, 5	0,764
ТП8	2x1600	Цех 8	8, 9	0,723
ТП10	2x630	Цех 10	10, 14, 4	0,724
ТП12	2x630	Цех 12	12,11,14	0,776
ТП15	2x630	Цех15	15, 16	0,642

Целесообразно приближать цеховые трансформаторы, к которым подключено несколько цехов, к цеху, имеющему наибольшую мощность. Так как нет информации о коммуникациях которые будут смонтированы на территории проектируемого завода по этому будем проводить линии передачи электроэнергии по наименьшей длине.

## 10. Расчет потерь мощности в трансформаторах

В общем виде потери полной мощности в трансформаторах  $\Delta S_{TP}$ , кВА

можно записать как

$$\Delta S_{TP} = \sqrt{\Delta P_{TP}^2 + \Delta Q_{TP}^2},$$

Потери активной мощности при раздельно работающих  $n$  однотипных трансформаторах  $\Delta P_{mp}$ , кВт определяются как

$$\Delta P_{mp} = n \cdot \Delta P_{XX} + n \cdot \Delta P_{K3} \cdot \beta_{mp}^2,$$

Потери реактивной мощности при раздельно работающих  $n$  однотипных трансформаторах  $\Delta Q_{mp}$ , кВт определяются как

$$\Delta Q_{mp} = n \cdot \Delta Q_{XX} + n \cdot \Delta Q_{K3} \cdot \beta_{mp}^2,$$

Где  $\Delta Q_{XX}$  – потери реактивной мощности на холостой ход, кВАр,

$$\Delta Q_{XX} = \frac{I_{XX} \cdot S_{ном.т}}{100},$$

$\Delta Q_{K3}$  – реактивные потери короткого замыкания, кВАр,

$$\Delta Q_{K3} = \frac{U_{K3} \cdot S_{ном.т}}{100},$$

где  $U_{K3}$  – напряжение короткого замыкания в % от номинального,

Расчет потерь для ТП-1, ТМН-630/10:

$$\Delta Q_{K3} = \frac{U_{K3} \cdot S_{ном.т}}{100} = \frac{6,5 \cdot 1600}{100} = 104 \text{кВАр}; \quad \Delta Q_{XX} = \frac{I_{XX} \cdot S_{ном.т}}{100} = \frac{1,3 \cdot 1600}{100} = 20,8 \text{кВАр};$$

$$\Delta Q_{mp} = n \cdot \Delta Q_{XX} + n \cdot \Delta Q_{K3} \cdot \beta_{mp}^2 = 2 \cdot 20,8 + 2 \cdot 104 \cdot (0,72)^2 = 133,2 \text{кВАр};$$

$$\Delta P_{mp} = n \cdot \Delta P_{XX} + n \cdot \Delta P_{K3} \cdot \beta_{mp}^2 = 2 \cdot 2,25 + 2 \cdot 7,6 \cdot (0,845)^2 = 19,03 \text{кВт};$$

$$\Delta S_{TP} = \sqrt{\Delta P_{TP}^2 + \Delta Q_{TP}^2} = \sqrt{19,03^2 + 133,2^2} = 134,5 \text{кВА}.$$

Для остальных ТП расчет ведется аналогично.

Сгруппируем цеха в зависимости от питающих трансформаторов и произведем расчет потерь. Полученные результаты сведем в таблицу 12.

.Таблица 11 – Выбор трансформаторов цеховых ТП

№ ТП	Тип	Sном, кВА	Напряжение обмоток		Потери КЗ		Uкз%	Iхх,%	Потери мощности		
			ВН	НН	ХХ	КЗ			$\Delta P_{тр}$	$\Delta Q_{тр}$	$\Delta S_{тр}$
1	ТМ-1600/10	2х 1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3	19,03	133,2	134,5
2	ТМ-1600/10	2х 1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3	16,86	119,5	120,7
3	ТМ-1600/10	2х 1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3	18,28	128,5	129,8
7	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	8,94	41,4	42,35
8	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3	19,3	135,5	136,8
10	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	9,8	45,4	46,44
12	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	10	46,3	47,4
15	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	8,82	40,88	41,82

## 11. Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых трансформаторных подстанций и уточнение их нагрузки

Наибольшее значение реактивной мощности, передаваемой из сети энергосистемы в сеть предприятия в режиме наибольших активных нагрузок энергосистемы для 110 кВ:

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,24 \cdot 11662,5 = 3382,125 \text{ кВар},$$

где  $\alpha = 0,29$  при  $U = 110$  кВ.

Анализ баланса реактивной мощности на шинах ГПП:

$$Q_{\text{расч.НН}} = 11191,6 \text{ кВар} > Q_c = 3382,125 \text{ кВар}.$$

Реактивной мощности, передаваемой из сети энергосистемы, не достаточно для существующей реактивной нагрузки, поэтому в качестве дополнительных источников реактивной мощности необходимо использовать батареи статических конденсаторов и/или синхронные двигатели, установленные на предприятии.

Наибольшая располагаемая реактивная мощность, которую можно рационально передать через трансформаторы в сеть напряжения до 1 кВ:

$$Q_{\text{max.тр}} = \sqrt{(N_{\text{тр}} \cdot \beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}})^2 - P_{\text{расч.н}}^2}, \text{ где}$$

$\beta_{\text{тр}} = 0,7$  – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме;

$$Q_{\text{max.тр}} = \sqrt{((8 \cdot 0,7 \cdot 1600) + (8 \cdot 0,7 \cdot 630))^2 - 11662,5^2} = 3831,7 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{БК,Н1}} = Q_{\text{расч.н}} - Q_{\text{max.тр}} = 11191,6 - 3831,7 = 7359,9 \text{ кВар}$$

где  $Q_{\text{расч.н}}$  – суммарная расчетная реактивная нагрузка ниже 1000 В.

По величине  $Q_{\text{БК,Н1}}$  делаем вывод, что компенсация необходима.

Дополнительная суммарная мощность КБ до 1 кВ для данной группы трансформаторов  $Q_{\text{БК,Н2}}$ :

$$Q_{\text{БК,Н2}} = Q_{\text{расч.н}} - Q_{\text{БК,Н1}} - \gamma N_{\text{тр}} S_{\text{ном.тр}}$$

где  $\gamma$  – коэффициент, определяемый в зависимости от показателей  $K_{p1}$ ,  $K_{p2}$  и схемы питания цеховой подстанции: для радиальной схемы по рис. 5.7 [2, стр. 112].  $K_{p1}$  принимаем по таблице 5.2 [2, стр. 113].

$K_{p1} = 15$  - для Сибири (общий для всех),

$K_{p2}$  - зависит от длины питающей линий и мощности трансформатора,

$$K_{p2}^{630} = 27; \quad \gamma^{630} = 0,38.$$

$$K_{p2}^{1600} = 40; \quad \gamma^{1600} = 0,32.$$

$$Q_{\text{БК,Н2}} = 11191,6 - 7359,9 - (0,32 \cdot 8 \cdot 1600 + 0,38 \cdot 8 \cdot 630) = -2179,5 \text{ кВар},$$

Так как  $Q_{\text{БК,Н2}} < 0$  – для данной группы трансформаторов реактивная мощность  $Q_{\text{БК,Н2}}$

принимается равной нулю.

Тогда суммарная расчетная мощность батарей ниже 1000 В равна:

$$Q_{БК,Н} = Q_{БК,Н1} + Q_{БК,Н2} = 7359,9 \text{кВар.}$$

Выбираем мощность КУ близкую к расчетной реактивной мощности, распределение

Таблица 12.выбор КБ.

	Стр.	Потребители	Qmax	Qбкн1	Н бк	факт. НБК	МАРКА КБ
ТП1	1600	1,9	713,07	1416,93	3	603, 200	УКМ 58-04- 603-67У3 УКМ 58-04- 200-33,3У3
ТП2	1600	2,13	1086,73	923,83	3	300	УКМ 58-04- 300-33,3У3 0
ТП3	1600	3,6	861,04	597,71	2	300	УКМ 58-04- 300-33,3У3 0
ТП7	630	7, 5	342,75	470,1	2	268,200	УКМ 58-04- 100-33,3У3
ТП8	1600	8, 9	628,84	1873,36	3	603	УКМ 58-04- 603-67У3
ТП10	630	10, 14, 4	164,9	495,5	3	167	УКМ 58-04- 167-33,3У3
ТП12	630	12, 5	80,5	476,76	2	225	УКМ 58-04- 225-37,5У3
ТП15	630	15, 11 , 14	360,24	424	2	225	УКМ 58-04- 225-37,5У3

Данное техническое решение является наиболее благоприятным как по экономическим, так и по технико-качественным показателям. Благодаря установке устройств компенсации реактивной мощности сокращается нагрузка на сеть, снижаются расходы на оплату электроэнергии, уменьшается нагрузка на трансформаторы, а как следствие увеличивается их срок службы, распределительные сети становятся более надежными и экономичными.

## 12. Выбор номинальной мощности и марки трансформатора ГПП

Электроснабжение предприятия реализуется от ПС энергосистемы по двум воздушным линиям электропередачи напряжением 110 кВ.

ГПП размещается на территории предприятия в соответствии с расчетным ЦЭН. На ГПП установлены два двухобмоточных трансформатора ТДН – 10000/110. РУ 10 (кВ) ГПП принимаем закрытым. На стороне 10 (кВ) принимаем обходную систему шин секционированную вакуумным выключателем с устройством АВР.

Обоснованность данного решения представлена ниже.

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{Pp}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{2,5} + \frac{2500}{11,89}}} = 49,4 \text{ кВ.}$$

Мощность трансформаторов на ГПП определяем по формуле:

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

$$S_{н.тр.} = \frac{13332,59}{2 \cdot 0,7} = 9523,3 \text{ [кВА].}$$

Полученное значение  $S_{н.тр}$  округляем до ближайшего большего стандартного значения и принимаем установку на ГПП двух трансформаторов типа ТДН – 10000/110.

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

$$S_{р.ГПП} < 1,4 \cdot S_{н.тр.},$$

$$13332,59 \text{ кВА} < 1,4 \cdot 10000 = 14000 \text{ кВА}$$

Условие проверки выполняется.

Сведем каталожные данные выбранного трансформатора в таблицу 11.

Таблица 13- Каталожные данные трансформатора ТМН-10000/110

Мощность трансформатора, МВА	Мощность трансформатора, МВА		Ток холостого хода, $I_{хх}\%$	Напряжение к.з., $U_{кз}\%$	Rтр Ом	Xтр Ом	$\Delta Q_{хх}$ , кВАр
	$\Delta P_{хх}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт					
10	14	58	0,9	10,5	2,6	23	40

### 13. Выбор сечения линии, питающей ГПП

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

$$I_p = \frac{2 \cdot S_p \cdot \Gamma_{ПП}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}; [1], \quad I_p = \frac{2 \cdot 10000 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 52,5 \text{ [A]}$$

В послеаварийном режиме или ремонтном:

$$I_{n.a.} = \frac{S_p \cdot \Gamma_{ПП}}{\sqrt{3} \cdot U_n}; \quad I_{n.a.} = \frac{2 \cdot 10000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 105 \text{ [A]}$$

Принимаем годовое число часов использования максимума нагрузки  $T_m=3000-5000$  ч/год. В соответствии с типовым графиком нагрузки предприятия. (Рис 6.)

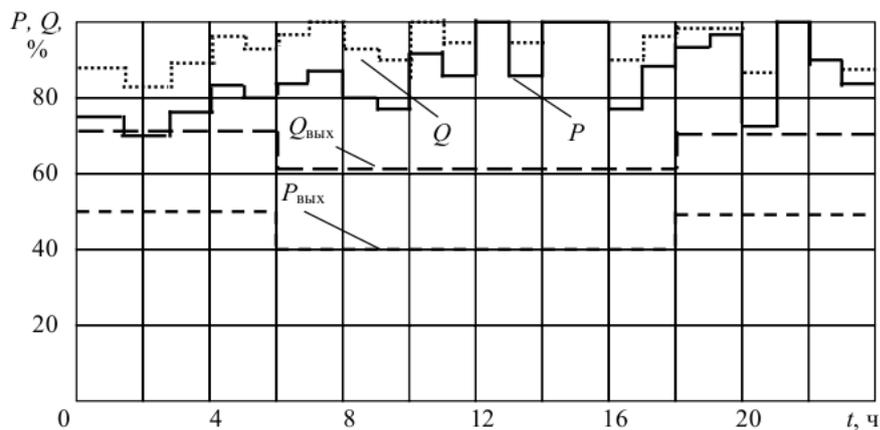


Рисунок 6. Характерный суточный график нагрузки машиностроительного завода.

При  $T_m=3000-5000$  часов для алюминиевых голых проводов принимаем экономическую плотность тока равной  $j_{ЭК}=1,1$  [А/мм<sup>2</sup>]. [3, табл.3.12]

Экономически целесообразное сечение проводов равно:

$$F_{ЭК} = \frac{I_p}{j_{ЭК}}; \quad F_{ЭК} = \frac{52,5}{1,1} = 47,72 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения и принимаем в качестве ВЛЭП провода марки АС–50 Допустимый длительный ток для выбранного сечения равен  $I_{доп}=135$  [А]. [6, табл.3.1]

Выбранное сечение провода должно быть проверено по допустимой токовой нагрузке по нагреву  $I_{доп}$ :  $1,3 \cdot I_{доп} \geq I_{п.а.}$

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

$175,5 \text{ [А]} \geq 105 \text{ [А]}$  – условие выполняется.

Кроме этого, выбранное сечение провода проверяется:

а) по условиям коронирования проводов

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

б) по условиям механической прочности, на воздушных линиях напряжением более 1000 В могут применяться сталеалюминевые провода сечением не менее  $25 \text{ мм}^2$

$$F_{\text{расч}} \geq F_{\text{min.мех}} = 25 [\text{мм}^2], [3.]$$

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

в) по допустимой потере напряжения:

$$L_{\text{доп}} = L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_3 \geq L,$$

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

$L_{\Delta U 1\%}$  – длина линии при полной загрузке на 1 % потери напряжения, км, для АС 70

по [1, таблица П. 5.1]  $L_{\Delta U 1\%} = 5,1 \text{ км}$ ;

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

$k_3 = \frac{I_{\text{доп}}}{I_p}$  – коэффициент обратный коэффициенту загрузки линии;

$L$  – фактическая длина линии, принимаем  $L = 2,5 \text{ км}$ .

Тогда:

$$L_{\text{доп}} = 5,1 \cdot 5 \cdot \frac{265}{34,99} = 193,1 [\text{км}]$$

$193,12 [\text{км}] > 2,5 [\text{км}]$ , проверка сечения провода по допустимой потере напряжения выполняется.

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

ГПП расположена в зоне рассеяния ЦЭН. На ГПП установлены два трансформатора типа ТДН–10000/110. На стороне 10 кВ принята одинарная система шин, секционированная вакуумным выключателем с устройством АВР.

### 13. Система внутриводского электроснабжения

Распределительная сеть 10 кВ по территории завода выполняется трехжильными кабелями с алюминиевыми жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена с прокладкой в траншеях. Выбор сечений кабелей производим по экономической плотности тока. Выбранные сечения проверяем по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учетом допустимой перегрузки в аварийном режиме. Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения.

Расчётным током линии для питания цеховых трансформаторов является их номинальный ток, независимо от фактической загрузки.

Экономически целесообразное сечение  $F$ ,  $мм^2$ , определяется из выражения:

$$F = \frac{I_p}{j_{эк}}$$

Выбор сечений кабелей производим по экономической плотности тока. Выбранные сечения проверяем по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учетом допустимой перегрузки в аварийном режиме. Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения.

Расчётным током линии для питания цеховых трансформаторов является их номинальный ток, независимо от фактической загрузки.

Сечения кабельных линий выбираются по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение  $F$ ,  $мм^2$ , определяется из выражения:

$$F = \frac{I_p}{j_{эк}}$$

где  $I_p$  – расчетный ток установки, А;

$j_{эк}$  – нормированное значение экономической плотности тока,  $\frac{А}{мм^2}$ , принимается по справочным данным.  $j_{эк} = 1.7 \text{ А/мм}^2$  для  $T_m = 3000-5000 \text{ ч/год}$



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

Расчет токов КЗ ведем в относительных единицах. Для этого все расчетные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности.

Для расчета токов КЗ составляется расчетная схема – упрощенная однолинейная схема электроустановки, в которой учитываются все источники питания, трансформаторы, воздушные и кабельные линии.

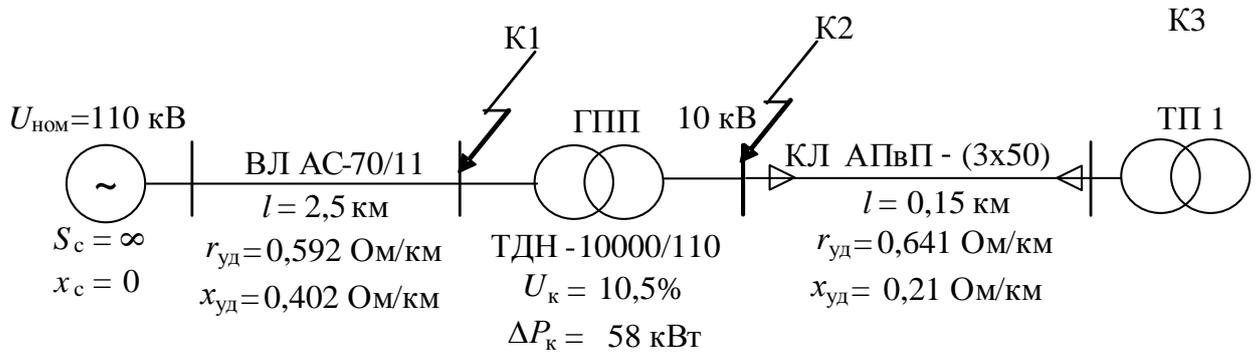


Рисунок 8 – Однолинейная расчетная схема сети

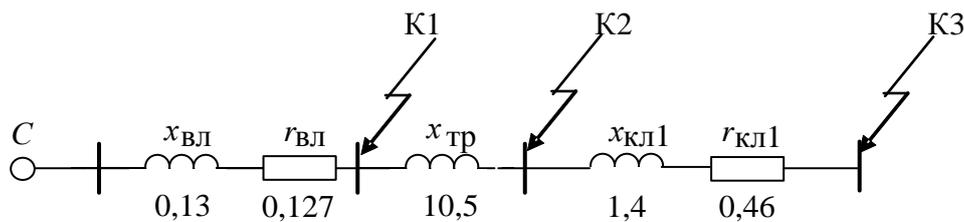


Рисунок 8.1 – Упрощенная однолинейная схема замещения.

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

Используя стандартный ряд базисных напряжений, принимаем  $U_{б1} = 115$  [кВ],  $U_{б2} = 10,5$  [кВ]. [1, стр.147].

За базисную мощность, принимаем  $S_б = 1000$  [МВА].

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

Принимаем базисные токи:

$$I_{*61} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{б1}} \quad I_{*61} = \frac{1000 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 10^3} = 5,02 \text{ [кА];}$$

$$I_{*62} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{б2}} \quad I_{*62} = \frac{1000 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 54,98 \text{ [кА];}$$

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

Базисные сопротивления в относительных единицах определяются по следующим формулам:

для воздушной линии:

$$X_{*вл} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{б1}^2}, \quad \text{где } x_0 = 0,402 \text{ Ом/км.} \quad X_{*вл} = 0,402 \cdot 2,5 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,076 \text{ [о.е.]};$$

$$R_{*вл} = R_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{б1}^2} \quad \text{где } r_0 = 0,592 \text{ Ом/км.} \quad R_{*вл} = 0,592 \cdot 2,5 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,11 \text{ [о.е.]}$$

для трансформатора:

$$X_{*тр} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{н.тр}},$$

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

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

$$X_{*тр} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{10} = 10,5 \text{ [о.е.]};$$

для кабельной линии:

$$X_{*кл1} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{б2}^2},$$

$$X_{*кл1} = 0,21 \cdot 0,15 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,286 \text{ [о.е.]};$$

$$R_{*кл1} = R_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{б2}^2} \quad \text{где } r_0 \text{ – активное сопротивление линии на один км длины, Ом/км, } r_0 = 0,641$$

Ом/км для сечения жилы – 50 мм<sup>2</sup>. [7, табл. 8.2.15.]

$l$  – длина линии, км.

$$R_{*кл1} = 0,641 \cdot 0,15 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,872 \text{ [о.е.]};$$

Проведем расчет токов КЗ для точки К1:

Сопротивление короткого замыкания:

так как  $r_{\Sigma} > x_{\Sigma}/3$  не выполняется:  $0,11 \text{ [о.е.]} < 0,025 \text{ [о.е.]}$ , то целесообразно учитывать активное сопротивление воздушной линии.

$$z_{*\Sigma \text{ К1}} = \sqrt{X_{*вл}^2 + R_{*вл}^2} \quad z_{*\Sigma \text{ К1}} = \sqrt{0,076^2 + 0,11^2} = 0,134 \text{ [о.е.]};$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{K1} = \frac{I_{\sigma 1}}{z_{*\Sigma K1}}, \quad I_{K1} = \frac{5,02 \cdot 10^3}{0,134} = 37,46 \text{ [кА]};$$

Ударный ток:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K1},$$

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

$$i_{уд K1} = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 37,46 = 55,62 \text{ [кА]},$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{K1} = \frac{S_{\sigma}}{z_{*\Sigma K1}}, \quad S_{K1} = \frac{1000}{0,134} = 7462,7 \text{ [МВА]}$$

Проведем расчет токов КЗ для точки К2:

Сопротивление короткого замыкания:

$$z_{*\Sigma K2} = \sqrt{0,11^2 + 10,576^2} = 10,57 \text{ [о.е.]} \quad (8.10)$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{K2} = \frac{I_{\sigma 2}}{z_{*\Sigma K2}}, \quad I_{K2} = \frac{54,98 \cdot 10^3}{10,576} = 5,198 \text{ [кА]};$$

Ударный ток:

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

$$i_{уд K2} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 5,198 = 14,33 \text{ [кА]},$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{K2} = \frac{S_{\sigma}}{z_{*\Sigma K2}}, \quad S_{K2} = \frac{1000}{10,576} = 94,55 \text{ [МВА]}.$$

Проведем расчет токов КЗ для точки К3:

Сопротивление короткого замыкания:

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

$$z_{*\Sigma K3} = X_{*вл} + X_{*тр} + X_{*кл1} \quad z_{*\Sigma K3} = 0,076 + 10,5 + 0,286 = 10,862 \text{ [о.е.]};$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{K3} = \frac{I_{62}}{z_{*\Sigma K3}} = \frac{54,98 \cdot 10^3}{10,862} = 5,06 \text{ [кА]};$$

Ударный ток:

$$i_{уд K3} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 5,06 = 11,45 \text{ [кА]},$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{K3} = \frac{1000}{10,862} = 92 \text{ [МВА]}$$

Результаты сведем в таблицу 15:

Таблица 15 – Расчет токов КЗ в сети выше 1000 В для участка Система – ГПП – ТП1.

Расчетные точки	Z	I <sub>кз</sub> ,кА	I <sub>у</sub> ,кА	S
К-1	0,1134	37,46	55,62	7462,7
К-2	10,576	5,198	14,33	94,55
К-3	10,862	5,06	11,45	92

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

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T},$$

где  $B_K = I_K^2 \cdot (t_{отк} + T_a)$  – тепловой импульс тока КЗ, [A<sup>2</sup>·с];

$T_a$  – постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ

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

$t_3$  – время действия основной защиты, для вакуумного выключателя ВВ/TEL -0,025

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

$T_a$  – постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ, с определяется как:

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}}, c$$

где  $x_{\Sigma}, r_{\Sigma}$  - результирующие индуктивное и активное сопротивления схемы относительно точки КЗ;  $\omega$  – угловая частота;  $\omega = 2\pi \cdot f = 314$  рад/с.

$C_T$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника, принимаем равным  $90 \left[ \frac{\text{А} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}}}{\text{мм}^2} \right]$ . [1]

КЛ от ГПП до ТП-1

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

Проверка сечения на термическую стойкость при КЗ производится в начале линии. Поэтому для расчета принимаем точку К.

$$T_a = \frac{x_{\Sigma 1^*}}{\omega \cdot r_{\Sigma 1^*}} = \frac{1,005}{314 \cdot 1,48} = 0,0021 \text{ с};$$

Где  $x_{\Sigma 1^*} = l \cdot x_0 = 2,5 \cdot 0,402 = 1,005 \text{ Ом}$

Определяем тепловой импульс тока

$$B_k = I_{к.к1}^2 (\tau + T_a) = (37,46 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,035 + 0,0021) = 52,06 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с},$$

Минимальное сечение жилы кабеля:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{52,06 \cdot 10^6}}{90} = 80,17 \text{ мм}^2$$

Принятое сечение линии не проходит по нагреву токами КЗ.

Выбираем следующие стандартное сечение  $95 \text{ мм}^2$

Проверяем сечение линии по потерям напряжения по формуле:

$$\Delta U_{кл} = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_H^2};$$

где  $l$  – длина линии.

Участок ГПП-ТП1

$$\Delta U_{кл} = \frac{2080 \cdot 1,48 \cdot 0,04 + 2105 \cdot 1,005 \cdot 0,04}{10 \cdot 10^2} = 0,21\%;$$

Таблица 16 Выбор и проверка сечений внутриводских линий

Номер линии	Назначение линии	Расчетная нагрузка на один кабель		$l$ , км	$F_{эж}$ , мм <sup>2</sup>	Марка и сечение кабеля $S$ , мм <sup>2</sup>	Допустимая нагрузка на один кабель		$\Delta U$ %
		$I_p$ , А	$I_{п/ав}$ , А				$I_{доп}$ , А	$1,25I_{доп}$ , А	
КЛ-1	ГПП-ТП1	96,25	192,5	0,04	56,6	АПвП 3(1x95)	215	268,75	0,21
КЛ-2	ГПП-ТП2	95,86	191,72	0,42	56,4	АПвП 3(1x95)	215	268,75	1,8
КЛ-3	ГПП-ТП3	96,12	192,24	0,065	56,5	АПвП 3(1x95)	215	268,75	0,34
КЛ-4	ГПП-ТП7	37,59	75,18	0,15	22,1	АПвП 3(1x35)	130	162,5	0,33
КЛ-5	ГПП-ТП8	96,32	192,62	0,205	56,6	АПвП 3(1x95)	215	268,75	1,07
КЛ-6	ГПП-ТП10	37,7	75,4	0,335	22,2	АПвП 3(1x35)	130	162,5	0,8
КЛ-5	ГПП-ТП12	37,74	75,48	0,54	22,2	АПвП 3(1x35)	130	162,5	1,3
КЛ-6	ГПП-ТП15	37,58	75,16	0,585	22,1	АПвП 3(1x35)	130	162,5	1,48

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

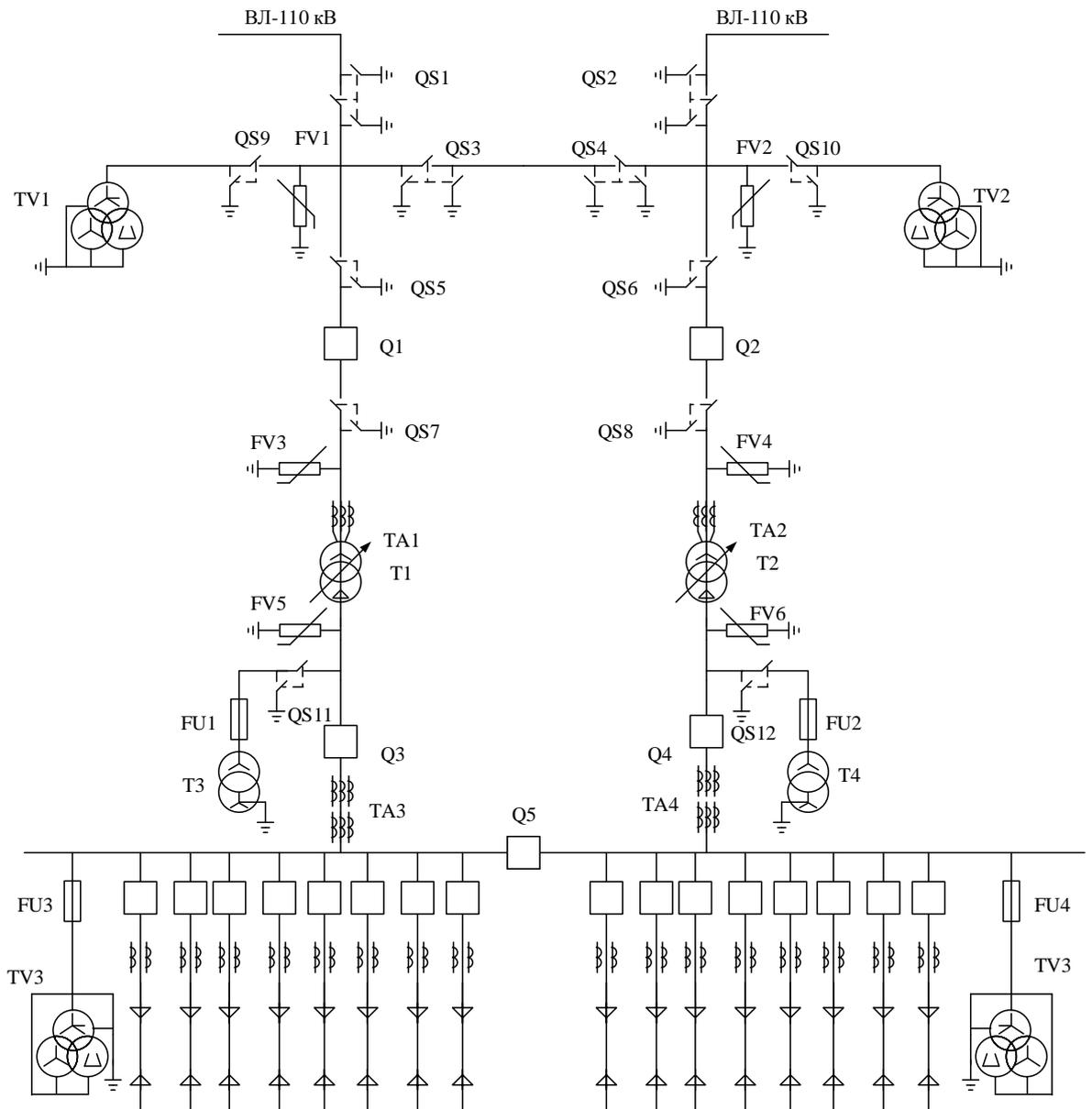


Рисунок 9. Схема ГПП для выбора высоковольтного оборудования

Все виды аппаратов должны выбираться в соответствии с вычисленными максимальными расчетными величинами для нормального режима и короткого замыкания. Для их выбора производим сравнение указанных расчетных величин с допускаемыми значениями высоковольтного оборудования.

Номинальный ток трансформатора:

$$I_{\text{номВН}} = \frac{S_{\text{н.мп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,48 \text{ A}$$

$$I_{\text{номНН}} = \frac{S_{\text{ном.мп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номНН}}} = \frac{10000}{10 \cdot \sqrt{3}} = 577,350(\text{A}).$$

Аварийный режим, при отключении одной линии:

$$I_{н.а.ВН} = 2 \cdot I_{номВН} = 2 \cdot 52,48 = 104,96(A),$$

$$I_{н.а.НН} = 2 \cdot I_{номНН} = 2 \cdot 577,35 = 1154,7(A).$$

Выбор выключателя 10 кВ произведем по следующим параметрам:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_p \leq I_n$ ;
3. По отключающей способности:  $I_0 \leq I_{н.откл}$ ;
4. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;
5. По термической стойкости:  $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ .

Выбор выключателя в распределительной сети 10 кВ сведем в таблицу.

Выбор разъединителя, отделителя и короткозамыкателя 110 кВ осуществим по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_p \leq I_n$  (кроме короткозамыкателя);
3. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;
4. По термической стойкости:  $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ .

Выбор выключателя 10 кВ

Таблица 16 – Выбор коммутационной аппаратуры

Расчетные данные	Каталожные данные
	Выключатель ВВ/TEL-10-8/800У2
$U_n = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 1154,7 \text{ А}$	$I_n = 1600 \text{ А}$
$I_{по} = 5,198 \text{ кА}$	$I_{н.откл} = 20 \text{ кА}$
$i_y = 14,33 \text{ кА}$	$I_{дин} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 5,198^2 \cdot 0,815 = 22,02 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 51^2 \cdot 0,015 = 39,296 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Выбран вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-8/800У2 .

Выбор выключателя в распределительной сети 110 кВ сведем в таблицу 17

Таблица 17 Выбор высоковольтного выключателя по расчетным и справочным данным

Расчетные данные	Каталожные данные
	Выключатель ВГТ-110У1
$U_n = 110 \text{ кВ}$ $I_{max} = 104,96 \text{ А}$ $I_{no} = 37,46 \text{ кА}$ $i_y = 55,62 \text{ кА}$ $B_k = 37,56^2 \cdot 0,11 = 154,36 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$ $I_n = 2000 \text{ А}$ $I_{н.откл} = 40 \text{ кА}$ $I_{дин} = 102 \text{ кА}$ $I^2_{терм} \cdot t_{терм} = 102^2 \cdot 0,025 = 260 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Выбор разъединителей 110 кВ:

Таблица 18- выбор разъединителя 110 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные
	Разъединитель РНД-110 /1000У1
$U_n = 110 \text{ кВ}$ $I_{max} = 104,96$ $i_y = 14,33 \text{ кА}$ $B_k = 5,198^2 \cdot 1,025 = 27,69 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$ $I_n = 1000 \text{ А}$ $I_{дин} = 80 \text{ кА}$ $I^2_{терм} \cdot t_{терм} = 80^2 \cdot 0,055 = 352 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Выбор разъединителей 10 кВ:

Таблица 19- выбор разъединителя 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные
	Разъединитель РВРЗ-10 /2000У1
$U_n = 10 \text{ кВ}$ $I_{max} = 1154,7 \text{ А}$ $i_y = 11,45 \text{ кА}$ $B_k = 11,45 \cdot 0,815 = 106,84 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_n = 2000 \text{ А}$ $I_{дин} = 85 \text{ кА}$ $I^2_{терм} \cdot t_{терм} = 85^2 \cdot 0,025 = 180,63 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Выбираем согласно ограничителю перенапряжения согласно [11 с. 182]

ОПН-П2-110/77/10/2 УХЛ1

ОПН-П1-10/12/10/2 УХЛ1

Выбор трансформаторов тока.

Проверяем трансформатор тока по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_{нор.м} \leq I_{ном}$ ;  $I_{max} \leq I_{ном}$ ;
3. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;
4. По термической стойкости:  $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ ;
5. По вторичной нагрузке:  $Z_2 \leq Z_{2ном}$ ;  $r_2 = Z_2 \leq Z_{2ном}$ ,

Таблица 20- выбор трансформаторов тока 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные ТВТ-110-У1
$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 33,07 \text{ А}$ $I_{max \text{ н.а.}} = 104,96 \text{ А}$ $i_y = 55,62 \text{ кА}$ $B_k = 37,46^2 \cdot 0,11 = 155,18 \text{ кА}^2 \text{ с}$ $r_2 = z_2 = 1,2 \text{ Ом}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 1000 \text{ А}$ $i_{дин} = 100 \text{ кА}$ $I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 52^2 \cdot 3 = 8112 \text{ кА}^2 \text{ с}$ $z_2 = 1,2 \text{ Ом}$

Таблица 21. Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Счетчик активной энергии	СА4-И 680	2,5	-	2,5
Счетчик реактивной энергии	СР4-И 673	2,5	-	2,5
Амперметр регистрирующий	Э-351	0,5	-	-
Ваттметр	Д-365	0,5	-	0,5
Итого		6		5,5

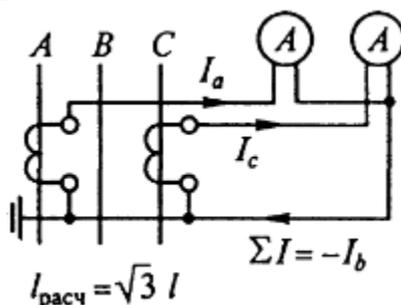


Рисунок 10 – Схема соединения измерительных трансформаторов тока в неполную звезду.

Принимаем длину  $l=50м$  для РУ 110 кВ.

Принимаем контрольный кабель АКРВГ с жилами сечением  $6 \text{ мм}^2$ , т.к. для алюминиевых проводов минимальное сечение  $4 \text{ мм}^2$

Выбранный нами трансформатор тока удовлетворяет всем условиям.

Таблица 22. Выбор трансформатора тока 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные ТПЛК10-У3
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{max} = 1154,7 \text{ А}$ $i_y = 11,45 \text{ кА}$ $B_k = 11,45^2 \cdot 0,815 = 106,84 \text{ кА}^2 \text{ с}$ $r_2 = z_2 = 1,2 \text{ Ом}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 1600 \text{ А}$ $i_{дин} = 74,5 \text{ кА}$ $I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 27^2 \cdot 4 = 2916 \text{ кА}^2 \text{ с}$ $z_2 = 1,2 \text{ Ом}$

Проверка производится аналогично трансформатору тока 110 кВ.

Выбранный нами трансформатор тока удовлетворяет всем условиям.

Трансформатор напряжения (TV)

Таблица 23. Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Прибор	тип	Число обмоток	Кол-во	$P_{потр}, \text{Вт}$	$Q_{потр}, \text{Вар}$	$P_{сум}, \text{Вт}$	$Q_{сум}, \text{Вар}$
вольтметр	Э-350	3	1	1		3	
ваттметр	Д-304	3	2	2	1,5	12	9
Счётчик активной энергии	И-680	3	2	2	0,75	6	4,5
Счётчик реактивной энергии	И-673	3	2	2	0,75	6	4,5
итого						27	19

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения первой секции:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2} = \sqrt{27^2 + 19^2} = 33 \text{ ВА}$$

Выбираем трансформатор напряжения НКФ 110-37 вторичная обмотка трансформатора в классе точности 0,5  $S_2 = 400 \text{ ВА}$ .

Таблица 24. Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Прибор	тип	Число обмоток	Кол-во	$P_{\text{потр, Вт}}$	$Q_{\text{потр, Вар}}$	$P_{\text{сум, Вт}}$	$Q_{\text{сум, Вар}}$
вольтметр	Э-350	1	4	2		8	
ваттметр	Д-304	3	1	2	1,5	6	3
Счётчик активной энергии	СА3-681	2	1	3	2,25	6	4,5
Счётчик реактивной энергии	СР3-682	2	1	3	2,25	6	4,5
итого						26	12

Выбор трансформаторов собственных нужд (ТСН):

$$S_{\text{ТСН}} = 0,05 \cdot S_{\text{тр.ном}} = 0,05 \cdot 10000 = 500 \text{ кВА}$$

Выбираем два трансформатора ТМ-250/10 [11 с. 157]

Предохранители:

Для защиты трансформаторов собственных нужд

Находим номинальный ток первичной обмотки ТМ-250/10 .

$$S_{\text{номВН}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{U_{\text{номВН}} \cdot \sqrt{3}} = \frac{250}{10 \cdot \sqrt{3}} = 14,43 \text{ (А)}$$

Выбираем предохранитель ПТ1.1-10У1

Таблица 25.Выбор предохранителей.

Расчётные данные	Справочные данные
$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{мах}} = 14,43 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 16 \text{ А}$
$I_{\text{п.о.}} = 3,686 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$

Выбираем ЗНОЛ.09[5].

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

Проверяем трансформатор напряжения по следующим условиям:

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

Таблица 26 – Характеристики приборов

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

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

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi = 36 \cdot 2,43 = 87 \text{ ВАр}$$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения:

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

## 16. Электроснабжение цеха твердой изоляции

Распределение ЭП по пунктам питания реализуется путём подключения группы ЭП распределительному пункту, которому он соответствует. Для каждого ЭП необходимо выбрать автоматический выключатель, а затем, зная тип автоматического выключателя, подключить его к соответствующему ПР. Кроме того, для каждого ПР необходимо выбрать защитный аппарат. Намечаем радиальную схему питающей сети цеха. Способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пунктов питания) – в каналах.

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

Защита производится автоматическими выключателями

*Выбор аппаратов защиты цеховой сети:*

Условия выбора автоматических выключателей:

1.  $U_{ном. АВ} = U_{ном.сети}$

2.  $I_{ном. АВ} \geq I_{ном.расц}$

3.  $I_{н.расц} \geq I_{дл}$

$I_{дл} = I_{ном}$  для отдельного ЭП,  $I_{дл} = I_p$  для группы ЭП.[1].

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

4.  $I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{пуск}$  для отдельного ЭП,  $I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{тик}$  – для группы ЭП,

5.  $I_{кз.} = k \cdot I_{н.расц}$  -номинальный ток срабатывания уставки в зоне кз.

Пример расчёта: АВ на отдельные ЭП (Станок специальный для резки)

Выбираем автомат серии ВА51Г,  $I_{ном} = 16 \text{ А}$ .

Далее определяем условия выбора:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном} \cdot \eta},$$

Получаем

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,92} = 11,35 \text{ А}.$$

$$I_{н.расц} \geq I_{дл}; \quad I_{н.расц} = 16; \quad I_{дл} = 11,35 \text{ А};$$

$$I_{кр} = I_{пуск} = 5 \cdot I_{ном} = 5 \cdot 11,35 = 56,75 \text{ А};$$

Выбираем автомат ВА51Г-16. Номинальный ток автомата  $I_{ном} = 16 \text{ А}$ , номинальный ток расцепителя  $I_{н.расц} = 16 \text{ А}$ , уставка мгновенного срабатывания  $I_{кз} = 112 \text{ А}$ .

$$I_{н.расц} = 16 \text{ А} \geq I_{дл} = 11,35 \text{ А};$$

$$I_{уст.эм} = 112 \cdot 6 = 672 \text{ А} \geq 1,5 \cdot 11,35 \cdot 5 = 85,15 \text{ А}$$

Окончательно выбираем автомат ВА51Г-16

Выбор автоматических выключателей для остальных электроприемников сведем в таблицу.

Таблица 27 – Защитные аппараты для электроприёмников цеха.

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном,А}$	$I_{пуск,А}$	$1,5I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР1	Станок специальный для резки	5,5	0,8	11,35	56,77	85,16	ВА51Г-25	16	112
ПР1	Дисковая пила	5,5	0,8	11,35	56,77	85,16	2хВА51Г-25	16	112
ПР1	Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,8	11,75	58,75	88,13	ВА51Г-25	16	112
ПР1	Дисковая пила с водяным охлаждением	4	0,8	8,26	41,29	61,94	ВА51Г-25	16	112
ПР1	Вертикально-фрейзерный станок	8,8	0,8	18,17	90,83	136,25	ВА51Г-25	25	175
ПР1	Вертикально-сверлильный станок	3,5	0,8	7,23	36,13	54,20	ВА51Г-25	16	112
ПР1	Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	12,80	63,99	95,99	ВА19	16	128
ПР1	Приточный вентилятор	15	0,9	30,96	154,8 2	232,23	ВА19	40	280
ПР2	Горизонтально-фрейзерный станок	9,1	0,8	18,79	93,93	140,90	ВА51Г-25	25	175
ПР2	Вертикально-сверлильный станок	4,6	0,8	9,50	47,48	71,22	2хВА51Г-25	16	112
ПР2	Станок с абразивным кругом	0,5	0,8	1,03	5,16	7,74	ВА51-25	2,5	17,5
ПР2	Заточный станок	0,5	0,8	1,03	5,16	7,74	ВА51-25	2,5	17,5
ПР2	Вертикально-фрейзерный станок	13	0,9	23,85	119,2	178,91	ВА51Г-25	25	175
ПР2	Горизонтально-фрейзерный станок	9,6	0,8	17,62	88,08	85,16	ВА51Г-25	25	175

Продолжение таблицы 27.

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном,А}$	$I_{пуск,А}$	$1,5I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР3	Дисковая пила	23,5	0,9	43,12	215,61	323,42	ВА 21-29-34	100	600
ПР3	Токарно-винторезный станок	4,2	0,8	8,67	43,35	65,03	ВА51Г-25	20	140
ПР3	Токарно-винторезный станок	13	0,9	23,85	119,27	178,91	2хВА21-29-32	63	378
ПР3	Вертикально-сверлильный станок	2,5	0,8	5,16	25,80	38,70	2хВА19	10	80
ПР3	Радиально сверлильный станок	7,5	0,8	15,48	77,41	116,12	ВА19	31,5	252
ПР3	Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	11,77	58,87	88,31	ВА51Г-25	16	112
ПР4	Реверсивный станок на столе	1,1	0,8	2,27	11,35	17,03	ВА51-25	5	35
ПР4	Лобзиковая пила	1,5	0,8	3,10	15,48	23,22	ВА19	6	48
ПР4	Галтовочный барабан	1,5	0,8	3,10	15,48	23,22	ВА19	6	48
ПР4	Радиально сверлильный станок	2,5	0,8	5,16	25,80	38,70	ВА51Г-25	10	70
ПР4	Настольно сверлильный станок	0,4	0,8	0,83	4,13	6,20	ВА19	1,6	4,8
ПР4	Элеваторный стелаж	2,2	0,8	4,54	22,71	34,07	ВА19	10	60
ПР4	Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,8	11,75	58,75	88,13	ВА51Г-25	16	112
ПР4	Термостат	12	0,9	20,26	101,29	323,42	ВА19	31,5	252

Продолжение таблицы 27.

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном,А}$	$I_{пуск,А}$	$1,5I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР4	Термостат	12	0,9	20,26	101,29	151,94	ВА19	31,5	252
ПР5	Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	12,80	63,99	95,99	ВА51Г-25	16	112
ПР5	Установка для приготовления компаунда	1,6	0,8	3,30	16,51	24,77	ВА51-25	4	28
ПР5	Центробежный станок	9	0,8	18,58	92,89	139,34	ВА51Г-25	25	175
ПР5	Литьевая машина	17	0,9	31,19	155,97	233,96	ВА19	63	378
ПР5	Компрессор	24	0,9	44,04	220,19	330,29	ВА19	63	378
ПР5	Вакуумный насос	3	0,8	6,19	30,96	46,44	Ва19	8	48
ПР5	Электропечь	24	0,9	44,04	44,04	66,06	ВА19	50	100
ПР5	Электропечь	24	0,9	44,04	44,04	66,06	ВА19	50	100
ПР5	Установка для плавления капрона	35	0,9	64,22	321,12	481,68	ВА 21-29-34	100	600
ПР6	Кран-балка ПВ=40%	8,85	0,8	16,25	81,24	121,86	ВА19	25	175
ПР6	Ножницы гальотинные	5,6	0,8	11,56	57,8	86,70	ВА51Г-25	25	175
ПР6	Управление электрической тележкой	1	0,8	2,06	10,32	15,48	ВА51-25	4	28
ПР6	Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	12,80	60	151,94	ВА51Г-25	16	96

Продолжение таблицы 27.

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном,А}$	$I_{пуск,А}$	$1,5I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР6	Управление электрической тележкой	1	0,8	2,06	10,32	15,48	ВА51-25	4	28
ПР6	Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	12,80	63,99	95,99	ВА51Г-25	16	96
ПР6	Электродпечь	50	0,9	91,75	91,75	137,63	2(ВА5135М3-125)	125	250
ПР6	Электродпечь	43	0,9	78,90	78,90	118,35	ВА 21-29-34	100	200
ПР6	Индуктор	50	0,9	91,75	91,75	137,63	ВА5135М3-125	125	250
ПР6	Приточный вентилятор	15	0,9	27,52	137,62	206,43	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР7	Станок с нагревной плитой	2	0,8	78,90	78,90	118,35	ВА 21-29-34	100	200
ПР6	Индуктор	50	0,9	91,75	91,75	137,63	ВА5135М3-125	125	250
ПР6	Приточный вентилятор	15	0,9	27,52	137,62	206,43	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР7	Станок с нагревной плитой	2	0,8	4,13	20,64	30,96	ВА19	8	56
ПР7	Пресс кривошипный	4,5	0,8	9,29	46,45	69,68	ВА19	16	112
ПР7	Кран-балка ПВ=40%	8,85	0,8	18,28	91,39	137,09	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР7	Пресс гидравлический	8	0,8	16,51	82,57	123,86	4xВА51Г-25	31,5	220,5
ПР7	Точильно-шлифовальный	0,5	0,8	1,03	5,16	15,48	ВА19	2	12

Окончание таблицы 27.

Распределительный пункт	наименование ЭП	$P_{кВт}$	$\cos\phi$	$I_{ном,А}$	$I_{пуск,А}$	$1,5I_{пуск}$	Выключатель	$I_{н.ав}$	$I_{кз}$
ПР7	Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	12,80	63,99	95,99	ВА19	16	96
ПР8	Пресс гидравлический	8	0,8	16,51	82,57	123,86	2хВА19	31,5	220,5
ПР8	Пресс гидравлический	15,5	0,9	28,44	142,21	213,32	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР8	Пресс гидравлический	31,5	0,9	57,80	57,80	86,70	2хВА5135М3-125	125	625
ПР8	Пресс гидравлический	25,5	0,9	46,79	46,79	70,19	ВА 21-29-34	100	500
ПР8	Пресс гидравлический	26	0,9	47,71	47,71	71,57	ВА5135М3-125	125	500
ПР8	Пресс гидравлический	15	0,9	27,52	27,52	41,28	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР9	Пресс гидравлический	15,5	0,9	28,44	28,44	42,66	ВА51Г-25	31,5	220,5
ПР9	Пресс гидравлический	15	0,9	27,52	137,62	206,43	2хВА51Г-25	31,5	220,5
ПР9	Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,8	11,75	58,75	88,13	ВА19	16	96
ПР9	Пресс гидравлический	35	0,9	64,22	321,12	481,68	ВА5135М3-160	160	960
ПР9	Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	12,80	63,99	95,99	ВА51Г-25	16	112
ПР9	Приточный вентилятор	15	0,9	27,52	137,62	206,43	ВА19	31,5	220,5

По данным табл. 27. примем тип распределительных пунктов.

По номинальному току ввода:

$$I_{н.РП}, A$$

$$I_{н.РП} \geq I_p.$$

По количеству отходящих линий:

$$n_{лин.РП}, шт$$

$$n_{лин.РП} \geq n_{лин.РП.факт}$$

По номинальному току аппарата для присоединения  $I_{н.апп}, A$ :

$$I_{н.апп} \geq I_{ном максЭП}$$

Результаты сведены в таблицу 28.

Таблица 28 – Распределительные пункты цеха

№ пункта	Тип пункта	Число отходящих линий
ПР1	ПР8501	9
ПР2	ПР8501	7
ПР3	ПР8501	9
ПР4	ПР8501	9
ПР5	ПР8501	8
ПР6	ПР8501	10
ПР7	ПР8501	9
ПР8	ПР8501	8
ПР9	ПР8501	7

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

Условия выбора автоматических выключателей:

1.  $U_{ном. АВ} = U_{ном.сети}$
2.  $I_{ном. АВ} \geq I_{ном.расц}$
3.  $I_{ном.расц.} \geq I_{длит}$
4.  $I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{кр}$

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

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

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

Пример выбора автоматического выключателя для защиты ПР-1:

$$I_{длит} = I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{\sqrt{P^2 + (Q)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = \frac{\sqrt{25,3^2 + 21,175^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 50,12 \text{ A};$$

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

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

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

Получаем:

$$I_{пик} = I_{п.м} + (I_M - K_u \cdot I_{ном.м}) = 154,28 + (50,12 - 0,338 \cdot 30,96) = 193,93 \text{ A}.$$

Условия для выбора автоматического выключателя:

$$I_{ном.расц.} \geq I_{длит} \quad 63 \geq 50,12 \text{ A};$$

$$I_{эм.р} \geq 1,25 \cdot I_{пик} = 1,25 \cdot 193,93 = 242,4 \text{ A}.$$

$$I_{эм.р} = k \cdot I_{ном.расц.} = 6 \cdot 63 = 378 \text{ A}$$

Принимаем автоматический выключатель типа ВА19 с номинальным током расцепителя

$$I_{ном.расц.} = 63 \text{ A}.$$

Уставка по току срабатывания расцепителя в зоне КЗ  $I_{эм.р} = 378 \text{ A}$ .

Таблица 29 – Выбор выключателей на ПР

№ пункта	$I_{дл}$	$I_{пик}$	$1,25 \cdot I_{пик}$	Тип Автомата	$I_{н.расц.}$	$I_{кз}$
ПР1	50,68	193,93	242,4	ВА13-29	63	378
ПР2	27,25	181,68	227,09	ВА22-27	40	280
ПР3	51,68	260,99	326,23	ВА13-29	63	378
ПР4	34,38	125,94	157,43	ВА22-27	40	280
ПР5	153,7	442,71	553,38	ВА57-35	250	1250
ПР6	295,94	438,36	547,96	ВА-04-31	320	640
ПР7	29,4	171,82	214,78	ВА19	50	250
ПР8	89,2	595,88	744,86	ВА5135М3	125	875
ПР9	92,84	655,82	819,78	ВА5135М3	100	900

Аппараты защиты для силовых распределительных пунктов.

Выбор вводного автомата на подстанции ТП-12:

$$I_{дл} = I_{ном.тр} = \frac{S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1340 A ;$$

$$I_{кр} = I_{пик}^{н/см} = I_{н.м} + (I_{ном.тр} - K_u \cdot I_{ном.м}) = 739,85 + (1340 - 0,4 \cdot 295,94) = 1961,5 A$$

Условия для выбора автоматического выключателя:

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = 1340 A ;$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{кр} = 1,25 \cdot 1961,5 = 2451,87 A$$

Принимаем автоматический выключатель типа ВА52-39 с номинальным током расцепителя

$$I_{ном.расц.} = 1600 A, I_{ном} = 1600 A .$$

Уставка по току срабатывания расцепителя в зоне КЗ

$$I_{кз} = 2 \cdot I_{ном.расц.} = 3200 A .$$

## 16.2 Выбор сечений линий питающей сети цеха.

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

$$I_{доп} \geq \frac{I_m}{k_{прокл}}.$$

Выбор по согласованию с аппаратом защиты:

$$I_{доп} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{прокл}},$$

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

$k_3$  - коэффициент защиты или кратность защиты;

Проверка по допустимой потере напряжения:

$$\Delta U_{p\%} = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10 \cdot U_H^2} \leq \Delta U_{доп\%} = 5\%,$$

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

Результаты расчета сечений питающей сети цеха приведены в табл. 20.

Пример расчетов для линии РП12 – ПР1:

$$I_{доп} \geq \frac{I_m}{k_{прокл}} = \frac{50,12}{1} = 50,12 \text{ A},$$

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

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

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

По таблице 1.3.7 [6] выбираем сечение кабеля, удовлетворяющее обоим условиям.

Принимаем кабель марки АВВГ (4х35):  $I_{доп} = 85 \text{ A}$ .

Проверяем выбранное сечение по условиям допустимой потери напряжения:

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

Окончательно принятое сечение и марка кабеля – АВВГ (4х35).[1.П 11.2]

Таблица 30. – выбор сечений линий питающих сети цеха

Наименование	№ линии	$I_M$	$K_{ПР}$	$I_3$	$K_3$	Марка кабеля	$I_{доп}$	$I_{доп} * K_{ПР}$	L
ТП12-ПР1	Л1	50,68	1	1	0,85	АВВГ (4х35)	85	74,118	0,046
ТП12-ПР2	Л2	27,25	1	1	0,85	АВВГ (4х16)	55	47,059	0,035
ТП12-ПР3	Л3	51,68	1	1	0,85	АВВГ (4х35)	85	74,118	0,021
ТП12-ПР4	Л4	34,38	1	1	0,85	АВВГ (4х25)	70	58,824	0,01
ТП12-ПР5	Л5	153,7	1	1	0,85	АВВГ (4х120)	200	188,24	0,013
ТП12-ПР6	Л6	295,94	1	1	0,85	2хАВВГ (4х120)	2х200	376,47	0,036
ТП12-ПР7	Л7	29,4	1	1	0,85	АВВГ (4х25)	70	58,824	0,038
ТП12-ПР8	Л8	89,2	1	1	0,85	АВВГ (4х95)	175	147,06	0,032
ТП12-ПР9	Л9	92,84	1	1	0,85	АВВГ (4х50)	120	117,65	0,025

### 16.3 Выбор сечений распределительной сети цеха.

Условия выбора сечений проводников для электроприемников:

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

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

Результаты расчетов представлены в табл.9.5.

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

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

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

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

Таблица 31.– Выбор сечений распределительной сети цеха.

Наименование ЭП	Р,кВт	cosφ	Ином,А	Кп	Ip	Тип выключателя	Кз·Iз/ K <sub>прокл</sub>	Idоп	Марка кабеля
Станок специальный для резки	5,5	0,8	11,35	0,85	21,37	ВА51Г-25	29,41	30	АВВГ (4х6)
Дисковая пила	5,5	0,8	11,35	0,85	21,37	2хВА51Г-25	29,41	30	АВВГ (4х6)
Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,8	11,75	0,85	22,11	ВА51Г-25	29,41	30	АВВГ (4х6)
Дисковая пила с водяным охлаждением	4	0,8	8,26	0,85	15,54	ВА51Г-25	18,82	19	АВВГ (4х2,5)
Вертикально-фрейзерный станок	8,8	0,8	18,17	0,85	34,19	ВА19	47,05	55	АВВГ (4х16)
Вертикально-сверлильный станок	3,5	0,8	7,23	0,85	13,60	ВА51Г-25	18,82	19	АВВГ (4х2,5)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	12,80	0,85	14,17	ВА19	18,82	19	АВВГ (4х2,5)
Приточный вентилятор	15	0,9	30,96	0,85	34,28	ВА19	47,05	55	АВВГ (4х16)
Горизонтально-фрейзерный станок	9,1	0,8	18,79	0,85	35,36	ВА19	47,05	55	АВВГ (4х16)
Вертикально-сверлильный станок	4,6	0,8	9,50	0,85	17,87	2хВА51Г-25	23,52	27	АВВГ (4х5)
Станок с абразивным кругом	0,5	0,8	1,03	0,85	1,942	ВА51-25	2,941	15	АВВГ (4х2,5)
Заточный станок	0,5	0,8	1,03	0,85	1,942	ВА51-25	2,941	15	АВВГ (4х2,5)
Вертикально-фрейзерный станок	13	0,9	23,85	0,85	50,51	ВА19	58,82	70	АВВГ (4х25)
Горизонтально-фрейзерный станок	9,6	0,8	17,62	0,85	37,30	ВА22-27	47,05	55	АВВГ (4х16)
Дисковая пила	23,5	0,9	43,12	0,85	91,31	ВА 21-29-34	117,6	120	АВВГ (4х70)
Токарно-винторезный станок	4,2	0,8	8,67	0,85	16,32	ВА51Г-25	23,52	27	АВВГ (4х5)
Токарно-винторезный станок	13	0,9	23,85	0,85	50,51	2хВА21-29-32	74,11	85	АВВГ (4х35)

Продолжение таблицы 31.

Наименование ЭП	P, кВт	cosφ	Iном, А	Kп	Iп	Тип выключателя	Kз·Iз/ Kпрокл	Iдоп	Марка кабеля
Вертикально-сверлильный станок	2,5	0,8	5,16	0,85	9,714	2хВА19	11,76	15	АВВГ (4х2,5)
Радиально сверлильный станок	7,5	0,8	15,48	0,85	29,14	ВА19	37,05	39	АВВГ (4х10)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	11,77	0,85	13,03	ВА51Г-25	18,82	19	АВВГ (4х2,5)
Реверсивный станок на столе	1,1	0,8	2,27	0,85	4,274	ВА51-25	5,882	15	АВВГ (4х2,5)
Лобзиковая пила	1,5	0,8	3,10	0,85	5,828	ВА19	7,058	15	АВВГ (4х2,5)
Галтовочный барабан	1,5	0,8	3,10	0,85	5,828	ВА19	7,058	15	АВВГ (4х2,5)
Радиально сверлильный станок	2,5	0,8	5,16	0,85	9,714	ВА51Г-25	11,76	15	АВВГ (4х2,5)
Настольно сверлильный станок	0,4	0,8	0,83	0,85	1,55	ВА19	1,882	15	АВВГ (4х2,5)
Элеваторный стелаж	2,2	0,8	4,54	0,85	8,548	ВА19	11,76	15	АВВГ (4х2,5)
Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,8	11,75	0,85	22,11	ВА19	29,41	30	АВВГ (4х6)
Термостат	12	0,9	20,26	0,85	35,74	ВА19	37,05	39	АВВГ (4х10)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	20,26	0,85	14,17	ВА51Г-25	18,82	19	АВВГ (4х2,5)
Установка для приготовления компаунда	1,6	0,8	12,80	0,85	3,885	ВА51-25	18,82	19	АВВГ (4х2,5)
Центробежный станок	9	0,8	3,30	0,85	20,57	ВА51Г-25	29,41	30	АВВГ (4х6)
Литьевая машина	17	0,9	18,58	0,85	55,04	ВА19	74,11	85	АВВГ (4х35)
Компрессор	24	0,9	31,19	0,85	54,8	ВА19	74,11	85	АВВГ (4х35)
Вакуумный насос	3	0,8	44,04	0,85	7,28	Ва19	58,82	70	АВВГ (4х25)

Продолжение таблицы 31.

Наименование ЭП	Р,кВт	cosφ	Ином, А	Кп	Ип	Тип выключателя	Кз·Iз/ К <sub>прокл</sub>	Идоп	Марка кабеля
Электропечь	24	0,9	6,19	0,85	49,08	ВА19	58,82	70	АВВГ (4х25)
Установка для плавления капрона	35	0,9	44,04	0,85	80	ВА 21-29-34	117,6	120	АВВГ (4х50)
Кран-балка ПВ=40%	8,85	0,8	44,04	0,85	34,43	ВА19	47,05	55	АВВГ (4х16)
Ножницы гальютинные	5,6	0,8	64,22	0,85	21,71	ВА51Г-25	29,41	37	АВВГ (4х8)
Управление электрической тележкой	1	0,8	16,25	0,85	3,88	ВА51-25	4,705	15	АВВГ (4х2,5)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	11,56	0,85	19,94	ВА51Г-25	18,82	19	АВВГ (4х2,5)
Электропечь	50	0,9	2,06	0,85	102,2	2хВА5135М3- 125	147	175	АВВГ (4х95)
Электропечь	43	0,9	12,80	0,85	87,94	ВА 21-29-34	117,64	120	АВВГ (4х50)
Индуктор	50	0,9	91,75	0,85	121,4	ВА5135М3-125	147,01	175	АВВГ (4х95)
Приточный вентилятор	15	0,9	27,52	0,85	34,28	ВА51Г-25	37,058	39	АВВГ (4х10)
Станок с нагревной плитой	2	0,8	78,90	0,85	7,77	ВА19	9,411	15	АВВГ (4х2,5)
Пресс кривошипный	4,5	0,8	91,75	0,85	17,48	ВА19	18,82	19	АВВГ (4х2,5)
Кран-балка ПВ=40%	8,85	0,8	27,52	0,85	34,43	ВА51Г-25	37,058	39	АВВГ (4х10)
Пресс гидравлический	8	0,8	4,13	0,85	31,08	4хВА51Г-25	37,058	39	АВВГ (4х10)
Точильно-шлифовальный	0,5	0,8	9,29	0,85	1,94	ВА19	2,35	15	АВВГ (4х2,5)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	18,28	0,85	14,17	ВА19	18,82	19	АВВГ (4х10)
Пресс гидравлический	8	0,8	16,51	0,85	31,08	2хВА19	37,05	39	АВВГ (4х16)

Окончание таблицы 31.

Наименование ЭП	P, кВт	cosφ	Iном, А	Kп	Iп	Тип выключателя	Kз·Iз/ Kпрокл	Iдоп	Марка кабеля
Пресс гидравлический	15,5	0,5	28,44	0,85	60,22	BA19	74,117	85	АВВГ (4х35)
Пресс гидравлический	31,5	0,5	57,80	0,85	122,4	2хBA5135M3-125	147,05	175	АВВГ (4х95)
Пресс гидравлический	25,5	0,9	46,79	0,85	99,08	BA 21-29-34	117,6	120	АВВГ (4х50)
Пресс гидравлический	26	0,9	47,71	0,85	101	BA5135M3-125	147,0	175	АВВГ (4х95)
Пресс гидравлический	15	0,9	27,52	0,85	58,28	BA19	74,117	85	АВВГ (4х35)
Пресс гидравлический	15,5	0,9	28,44	0,85	60,22	BA19	74,117	85	АВВГ (4х35)
Пресс гидравлический	15	0,9	27,52	0,85	58,28	2хBA19	74,117	85	АВВГ (4х35)
Кран-балка ПВ=40%	5,69	0,8	11,75	0,85	22,11	BA51Г-25	29,41	30	АВВГ (4х6)
Пресс гидравлический	35	0,9	64,22	0,85	136	BA5135M3-160	188,23	200	АВВГ (4х120)
Вытяжной вентилятор	6,2	0,8	12,80	0,85	14,17	BA51Г-25	18,823	19	АВВГ (4х2,5)
Приточный вентилятор	15	0,9	27,52	0,85	34,28	BA19	37,058	39	АВВГ (4х10)

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

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

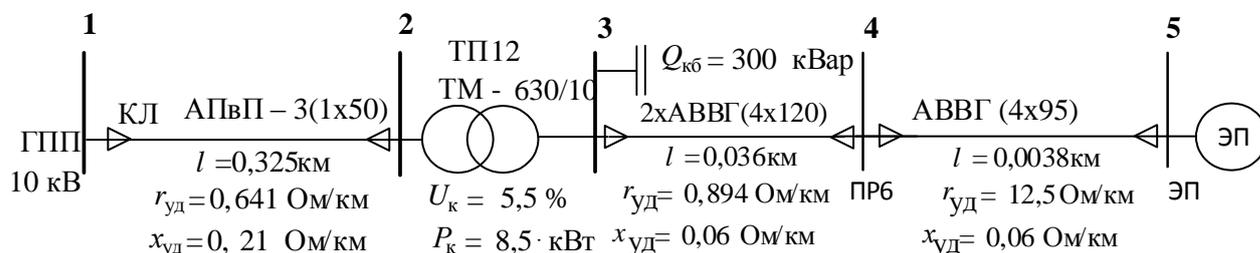


Рисунок 12 – Участок сети для расчета потерь напряжения и построения эпюры отклонений напряжения.

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

Для трансформатора:

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

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

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

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

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

трансформатора, %;

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

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

$U_k$  – напряжение короткого замыкания, %;

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

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

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

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

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

### 16.5 Расчет для максимального режима нагрузок:

Участок ГПП – ТП12 (АВВГ 3(1х50)):

$$\Delta U_{\text{ГПП-ТП}} \% = \frac{P \cdot r_{012} \cdot l + Q \cdot x_{012} \cdot l}{10 \cdot U_H^2} = \frac{297,2 \cdot 0,641 \cdot 0,325 + 376,24 \cdot 0,21 \cdot 0,325}{10 \cdot 10,5^2} = 0,082\%$$

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

$$\Delta U_{\text{ГПП-ТП}} = 0,082 \cdot \frac{10500}{100} = 5,16 [\text{В}];$$

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

Участок ТП12:

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

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

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

$$U_p = \sqrt{(U_k)^2 - (U_a)^2}$$

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

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

$$\beta_T = \frac{\sqrt{(297,2)^2 + (376,24)^2}}{630} = 0,72;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{323,08}{\sqrt{(297,2)^2 + (376,24)^2}} = 0,695$$

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

Тогда

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

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

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

Участок ТП12-РП1:

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

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

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

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

Участок РП1-ЭП1 станок специальный для резки:

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

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

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

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

Отклонения напряжения:

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

$$\delta U_2 = \delta U_1 - \Delta U_{ТП12-РП1} \% = 5 - 0,664 = 4,336 \%;$$

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_{РП1-ЭП1} \% = 4,336 - 0,062 = 4,274 \%;$$

$$\delta U_4 = \delta U_3 - \Delta U_{ТП12-РП1} \% = 4,274 - 0,664 = 3,61 \%;$$

$$\delta U_5 = \delta U_4 - \Delta U_{РП1-ЭП1} \% = 3,61 - 0,062 = 3,548 \%;$$

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

### 16.6. Расчет для минимального режима нагрузок:

Для определения потоков мощностей минимального режима необходимо воспользоваться характерным суточным графиком электрических. В нашем случае примем  $P_{\min} = 0,85 \cdot P_{\max}$  минимальная реактивная мощность  $Q_{\min} = 0,3 \cdot Q_{\max}$  в соответствии с суточным графиком нагрузки. (рисунок 6, раздел 13).

Таблица 32. – Результаты расчета сети по потере

Обозначение участка	ГПП-ТП12	ТП12	ТП12-ПР6	РП12-ЭП1
Марка кабеля (сечение, мм <sup>2</sup> )	АВВГ(3x50)	ТМ – 2x 630/10	2xАВВГ (4x120)	АВВГ (4x95)
Длина, км	0,325	-	0,036	0,0038
Активное, Ом/км	0,641	1,34	0,894	12,5
Реактивное, Ом/км	0,21	5,33	0,06	0,06
Потери % напряжения макс / мин режим	0,082 / 0,057	3,376 / 1,39	0,664 / 0,249	0,062 / 0,52

#### Расчет для послеаварийного режима

Примем величину напряжения в начале участка  $U_1 = 10,5 \text{ кВ}$ .

$$P_1 = 297,2 \cdot 2 = 594,4 \text{ (кВт)}$$

$$Q_1 = 376,24 \cdot 2 = 752,48 \text{ (кВАр)}$$

Суммарное отклонение напряжения равно:

$$\delta U_0 = 5\%$$

$$\delta U_{12} = \delta U_0 - \delta U_{1-2} \% = 5 - 0,055 = 4,945\%,$$

$$\delta U_{23} = \delta U_{12} - \delta U_{2-3} \% = 4,945 - 3,56 = 1,385\%,$$

$$\delta U_{34} = \delta U_{23} - \delta U_{3-4} \% = 1,385 - 3,49 = -2,105\%,$$

$$\delta U_{45} = \delta U_{34} - \delta U_{4-5} \% = -2,105 - 1,12 = -3,225\%,$$

$$\delta U_{56} = \delta U_{45} - \delta U_{5-6} \% = -3,225 - 0,286 = -3,511\%.$$

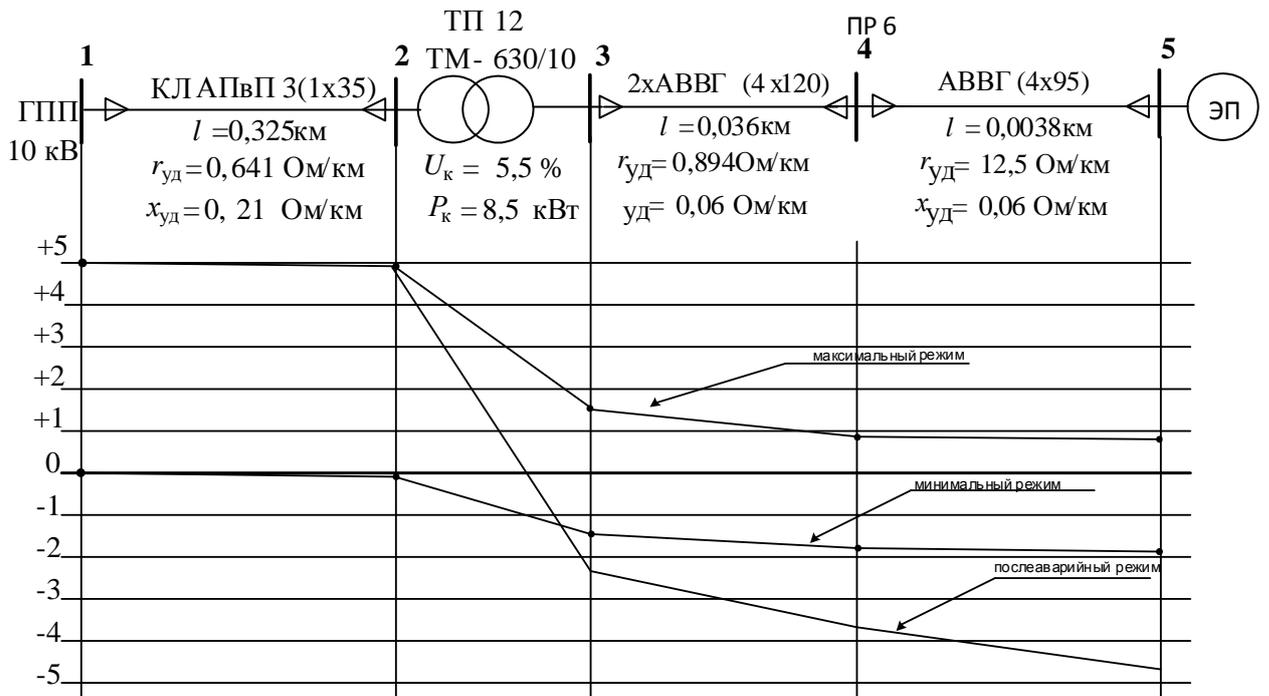


Рисунок 13 – Эпюры отклонений напряжения.

## 16.7. Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В

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

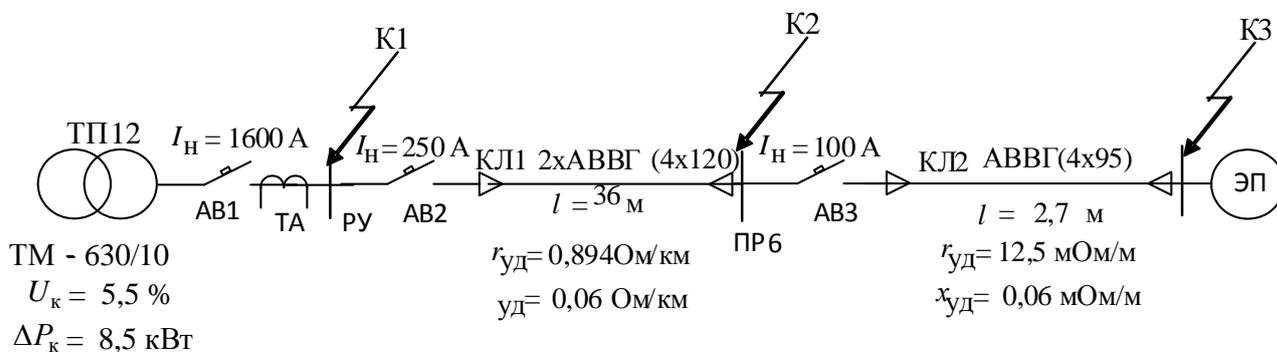


Рисунок 14. – Участок сети до 1000 В для расчета токов КЗ

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

- 1) принимаем мощность системы  $S_c = \infty$ , что правомерно при  $S_c \geq 50S_{н.тр.}$ , т.е. напряжение на шинах подстанции считается неизменным при КЗ в сети до 1000 [В];
- 2) при расчёте учитываются активные и реактивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети: силового трансформатора, сопротивление токовой катушки автоматического выключателя и переходное сопротивление контактов, сопротивление первичной обмотки трансформаторов тока, сопротивление проводов и кабелей;
- 3) расчёт ведётся в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети. Принимаем  $U_c = 400$  [В]. [1]

### Расчёт токов КЗ для точки К1:

$$1) \quad R_{A1} = 0,15 \text{ мОм}; \quad X_{A1} = 0,17 \text{ мОм}; \quad R_{Aпер1} = 0,4 \text{ мОм};$$

2. Сопротивления АВ2:

$$R_{A2} = 6,2 \text{ мОм} \quad X_{A2} = 4,3 \text{ мОм} \quad R_{Aпер2} = 1,4 \text{ мОм} . \quad \backslash$$

Сопротивления автоматического выключателя АВ3:

$$6. \quad R_{A3} = 15 \text{ мОм}; \quad X_{A3} = 13 \text{ мОм}; \quad R_{Aпер3} = 4,9 \text{ мОм};$$

4. Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТА  $R_{ТТ} = 3,1 \text{ мОм}; \quad X_{ТТ} = 13,6 \text{ мОм};$  5. Сопротивления кабельных линий

$$R_{КЛ1} = 8,9 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ2} = 0,06 \text{ мОм}$$

$$R_{КЛ2} = 5,21 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ1} = 0,6 \text{ мОм}$$

6. Активные переходные сопротивления неподвижных контактных соединений:

$$R_{kкЛ1} = 0,043 \text{ мОм} \quad R_{kкЛ2} = 0,085 \text{ мОм}$$

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

$$x_{\Sigma 10В} = x_{вЛ} + x_{тргПП} + x_{кЛ} = 4,6 + 13,1 + 0,85 = 17,785 \text{ мОм.}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$R_1 = R_{10Н} + R_{тр} + R_{А1} + R_{ТТ} + R_{Апер1} = 0,15 + 2,01 + 0,15 + 11,3 + 3,1 = 17,3 \text{ мОм.}$$

$$X_1 = X_{10Н} + X_{тр} + X_{ТТ} + X_{А1} = 0,02 + 3,02 + 13,6 + 0,15 = 16,79 \text{ мОм}$$

$$R_2 = R_{А2} + R_{Апер2} + R_{ккЛ1} + R_{кЛ1} + R_1 = 6,2 + 1,4 + 0,04 + 8,9 + 0,043 = 7,62 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_{А2} + X_{кЛ1} + X_1 = 0,17 + 0,6 + 16,79 = 17,56 \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{А3} + R_{Апер3} + R_{ккЛ2} + R_{кЛ2} + R_2 = 5,5 + 1,3 + 0,08 + 3,9 + 47 = 57,78 \text{ мОм}$$

$$X_3 = X_{А3} + X_{кЛ2} + X_2 = 15 + 0,06 + 17,56 = 32,62 \text{ мОм}$$

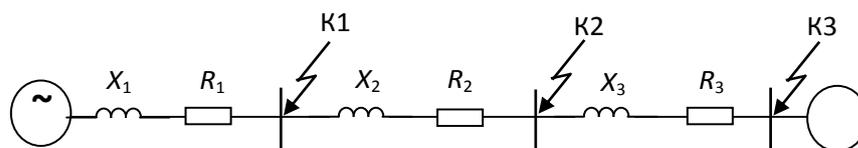


Рисунок 15. – Упрощенная схема замещения цеховой сети

Ток КЗ в точке К1 равен:

$$I_{к1} = \frac{U_{нсети}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_1^2 + X_1^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 28,8} = 7,6 \text{ кА;}$$

Ударный ток в точке К1:

$$i_{y1} = k_{y1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1} = 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,6 = 12,36 \text{ кА.}$$

Значение  $k_y$  определяем по кривой, для

$$\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 1}} = \frac{16,79}{25,2} = 0,69; \quad k_{y1} = 1.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Таблица 33. – Результаты расчета токов КЗ

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

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

**17. Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети.**

Карту селективности строим для участка цеховой сети от вводного автомата на подстанции ТП-12 до самого мощного электроприемника.

Данные для построения карты селективности представлены в табл. 24.

Таблица 34. – Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

	ЭП	ПР5	ТП-12	I <sub>кз</sub> в соотв. точках, кА		
				1	2	3
I <sub>р</sub> , А	-	153.7	1340	7,16	4,64	2,9
I <sub>пик</sub> , А	-	428.774	1937.79			
I <sub>ном</sub> , А	64.22	-				
I <sub>пуск</sub> , А	321.12	-				

Таблица 35. – 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(ТП12)	1600	3200
ВА57-35 (ПР5)	250	1250
ВА21-29-34(ЭП71)	100	600

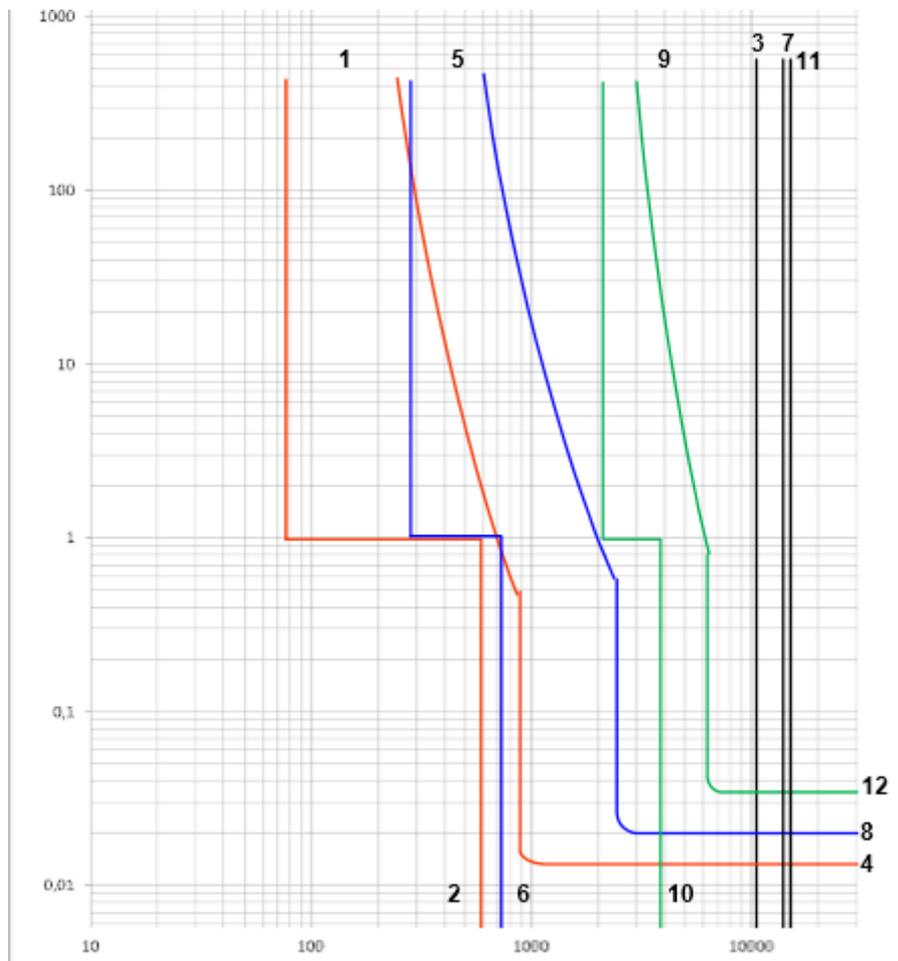


Рисунок 16. – Карта селективности действия аппаратов защиты

Обозначения на карте селективности:

- 1 – номинальный ток ЭП; 2 – пусковой ток ЭП; 3 – значение тока КЗ в точке К3;
- 4 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА21-29-34,  $I_{КЗ} = 600\text{A}$ ;
- 5 – расчетный ток ПР-6; 6 – пиковый ток ПР-5; 7 – значение тока КЗ в точке К2;
- 8 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА57-35,  $I_{КЗ} = 1250\text{ A}$ ;
- 9 – расчетный ток ТП-12; 10 – пиковый ток ТП-12;
- 11 – значение тока КЗ в точке К1; 12 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА74-43,  $I_{КЗ} = 3200\text{ A}$ .

## Заключение

В ходе данного курсового проекта была рассчитана сеть электроснабжения машиностроительного завода с подробной проработкой сети цеха твердой изоляции.

После проведения необходимых расчетов, были определены:

1. Полная расчетная нагрузка электроприемников спирального цеха методом коэффициента спроса;
2. Полная суммарная нагрузка завода в целом:

По результатам расчета нагрузки по цехам завода построена картограмма нагрузок, определен центр электрических нагрузок. Установка ГПП произведена рядом с центром электрических нагрузок со смещением в сторону питающей линии.

Затем были рассчитаны элементы схемы электроснабжения. По рассчитанной схеме электроснабжения была построена однолинейная схема.

Электроснабжение предприятия реализуется от ПС энергосистемы, находящейся на расстоянии 2,5 км от завода. Питание предприятия по двухцепной ВЛ напряжением 110 кВ. ВЛ исполнена проводом марки АС-70. На ГПП, для обеспечения надежности электроснабжения потребителей 2 категории, устанавливаются два трансформатора ТМН 10000.

Произведен выбор автоматических выключателей на цепочке «ТП – самый мощный ЭП цеха». Выбраны кабели, питающие распределительные шкафы (0,4 кВ), типа АВВГ и провода ответвлений к электроприемникам типа АВВГ.

Произведены расчеты токов короткого замыкания в сети выше 1000 В, и до 1000 В. Выбраны высоковольтные выключатели, трансформаторы тока и напряжения. Затем, исходя из полученных данных, были проверены сети и выбранное оборудование на стойкость к токам короткого замыкания.

По результатам расчетов были построены эпюры отклонений напряжения для максимального и минимального режимов. Проанализировав эпюры можно сделать вывод, что во всех режимах отклонение напряжения не превышает максимально допустимого  $\pm 5\%$ . Также построена карта селективности, из которой видно, что все аппараты работают в соответствии с предъявленными требованиями.