

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство термического производства металлургического завода»

Студент(ка)

И.С. Грядунов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.Н. Кузнецов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина _____

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

Аннотация

В бакалаврской работе представлен расчёт системы электрооборудования и электрохозяйства термического производства металлургического завода.

В работе представлен расчёт электрических нагрузок термического производства; расчет картограммы нагрузок; выбор числа, мощности и типа цеховых трансформаторных подстанций; выбор схемы внешнего и внутреннего электроснабжения; выбор экономически целесообразного варианта установки силовых трансформаторов на ГПП; выбор компенсирующих устройств; выбор силовых кабелей; выбор необходимого оборудования на ГПП термического производства металлургического завода; расчет релейной защиты силовых трансформаторов, установленных на ГПП.

Пояснительная записка выполнена на 58 листах формата А4, содержит 26 таблиц и 4 рисунка. Графическая часть представлена на шести листах формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика технологического процесса термического производства.....	6
2 Расчет нагрузок термического производства.....	7
3 Составление картограммы нагрузок.....	11
4 Выбор числа, мощности и типа цеховых трансформаторов.....	15
5 Выбор схемных решений в системе электроснабжения.....	19
6 Расчет и выбор устройств компенсации реактивной мощности.....	27
7 Расчет токов короткого замыкания.....	33
8 Выбор аппаратов и проводников ГПП термического производства.....	36
8.1 Выбор электрических аппаратов на стороне ВН.....	36
8.2 Выбор электрических аппаратов на стороне НН.....	39
9 Выбор проводников распределительной сети.....	43
9.1 Напряжение и схема внутреннего электроснабжения.....	43
9.2 Выбор и расчет кабелей распределительной сети.....	43
10 Расчет релейной защиты ГПП термического производства.....	45
10.1 Расчет токов короткого замыкания.....	45
10.2 Расчет дифференциальной токовой защиты.....	47
10.3 Расчет МТЗ от перегрузки, уставки реле обдувки и реле токовой блокировки регулятора трансформаторов.....	51
10.4 Расчет МТЗ на секционных выключателях.....	54
Заключение.....	55
Список использованных источников.....	56

Введение

Металлургическая промышленность является базовой отраслью для многих других отраслей промышленности. В общем виде она подразделяется на отрасль производящую черные металлы и отрасль производящую цветные металлы.

Металлургическая промышленность является достаточно энергоёмкой отраслью. Огромная доля энергии тратится на выплавку металла и на производство готовых изделий. В металлургическую отрасль наряду с производствами металлов входят и термические производства. Оборудование термических производств позволяет получать структуру металла, обеспечивающую высокие эксплуатационные характеристики.

Высокая энергоёмкость данного вида промышленности накладывает ряд особенностей на конструкции распределительных сетей.

Большая часть производств входящих в данную отрасль можно отнести к потребителям первой и второй категорий по надёжности электроснабжения. Основные технологические процессы при производстве металла и готовых изделий не допускают перерыва в электроснабжении, так как это может повлечь за собой значительный недоотпуск продукции и повреждение основных производственных фондов.

Поэтому построение современных систем электрооборудования и электрохозяйства промышленных предприятий, входящих в металлургическую отрасль, является актуальной задачей. При проектировании систем электрооборудования и электрохозяйства промышленных предприятий металлургической отрасли необходимо полностью учитывать специфику производственного процесса, а так же возможные аварийные ситуации в технологическом процессе.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы электрооборудования и электрохозяйства термического производства металлургического завода.

Задачи, решаемые в рамках выполнения бакалаврской работы:

1. Расчет электрических нагрузок;
2. Выбор силовых трансформаторов на ГПП;
3. Расчет токов короткого замыкания
4. Выбор внешнего и внутреннего электроснабжения, выбор количества ТП, выбор оборудования на ГПП;
5. Расчет уставок релейной защиты и автоматики.

В результате выполнения бакалаврской работы будет разработана система электрооборудования и электрохозяйства термического производства металлургического завода, которая удовлетворяет всем современным требованиям в рамках безопасности и надёжности электроснабжения.

1 Характеристика технологического процесса термического производства

Металлургическая промышленность играет большую роль в народном хозяйстве. Она является базой для создания тяжелой, легкой, машиностроительной, нефтехимической и практически любой другой промышленности страны. Такое значение данная отрасль народного хозяйства имеет потому, что в основе промышленного машиностроения находятся металлы.

В металлургической промышленности термическое производство играет важную роль, данное производство позволяет производить закалку токами высокой частоты, нормализацию, закалку, отпуск (высокий и низкий), цементацию.

Рассматриваемое предприятие осуществляет термическую обработку – закалку, отжиг: роликов, валов, опорных втулок, бандажей, любых марок сталей и сплавов, включая титановые.

Термообработка сопровождается следующими видами контроля: твердости, прокаливаемости, механических свойств (в том числе при отрицательных и повышенных температурах) и остаточных напряжений, магнитных свойств и т.д.

В термическом производстве используются оборудование: горизонтальные печи до 12,5 м с выкатным подом, вертикальные (шахтные) печи глубиной до 15 м, гидравлические пресса для устранения не прямолинейности и прочих короблений, возникших при термической обработке.

2 Расчет нагрузок термического производства

На первом этапе необходимо определить для каждого цеха предприятия расчетную низковольтную и высоковольтную нагрузки.

Алгоритм расчета электрических нагрузок по предприятию:

1. Определяем активную мощность одного приведенного электроприёмника для каждого цеха:

$$P_{Н.Э} = P_{общ} / n_{Э},$$

где $P_{общ}$ – активная мощность всех электроприёмников в данном цехе; $n_{Э}$ – приведенное количество электроприёмников.

2. Коэффициент использования $K_{И}$ и мощности $\cos \varphi$ электроприёмников цеха находится по справочникам.

3. Определяем среднюю активную мощность для каждого цеха:

$$P_C = P_{общ} \cdot K_{И}.$$

4. Определяем среднюю реактивную мощность для каждого цеха:

$$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент реактивной мощности группы электроприёмников.

5. Определяем коэффициент максимума K_M с использованием $n_{Э}$ и $K_{И}$ по справочным данным.

6. Определяем расчётную активную мощность каждого цеха:

$$P_P = P_C \cdot K_M.$$

7. Определяем расчётную активную мощность освещения каждого цеха:

$$P_{P.O.} = K_C \cdot P_{YO} \cdot F_n,$$

где F_n – площадь цеха; P_{YO} – удельная осветительная нагрузка на 1 м²; K_C – коэффициент спроса по активной осветительной нагрузке.

8. Определяем расчетную реактивную мощность каждого цеха:

если $n_{\Delta} \leq 10$, то находим мощность, как $Q_P = 1,1 \cdot Q_C = 1,1 \cdot P_H \cdot K_H \cdot tg\varphi$; если $n_{\Delta} \geq 10$, то находим мощность, как $Q_P = Q_C = P_H \cdot K_H \cdot tg\varphi$.

9. Определяем полную расчетную нагрузку каждого цеха:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}.$$

Для высоковольтных электроприёмников должна быть получена итоговая строка «Итого по высоковольтной нагрузке».

Суммарные данные по низковольтным и высоковольтным электроприемникам, позволяют получить итоговую строку «Итого по предприятию».

Результаты расчета электрических нагрузок металлургического предприятия сводятся в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчета нагрузок по металлургическому предприятию

№п. п.	Наименование потребителя	Рн, кВт	Рн.э, кВт	пэ	Ки	cos φ	tg φ	Рс, кВт	Qс,квар	Км	Рр, кВт	Рр.о.к Вт	Рр+Рр.о., кВт	Qр, квар	Sp, кВА
Нагрузка 0,4 кВ															
1	Ремонтно-механический цех	413	18,77	22	0,12	0,4	2,3	49,56	113,99	1,55	76,82	9,88	86,7	113,99	143,21
2	Участок №1	1694	94,11	18	0,12	0,4	2,3	203,28	467,54	1,65	335,41	13,2	348,61	467,54	583,21
3	Управление	615	-	-	-	-	-	-	-	-	615	18,66	633,66		633,66
4	Отделение отделки	459	114,75	4	0,12	0,4	2,3	55,08	126,68	1,73	95,29	88,16	183,45	139,35	230,37 45
5	Печное отделение	1822	91,1	20	0,5	0,8	0,75	911	683,25	1,2	1093,2	7,58	1100,78	683,25	1295,5 9
6	Лаборатория	12	6	2	0,12	0,4	2,3	1,44	3,312	3,44	4,95	18,22	23,17	3,64	23,46
7	Травильное отделение	122	12,2	10	0,5	0,7	1,02	61	62,22	1,34	81,74	46,76	128,5	68,44	145,59
8	Котельная	381	63,5	6	0,7	0,85	0,62	266,7	165,35	0,91	242,7	6,55	249,25	181,89	308,56
9	Гидравлическая станция	50	25	2	0,7	0,85	0,62	35	21,7	1	35	6,59	41,59	23,87	47,95
10	Эмульсионное отделение	30	2,5	12	0,3	0,5	1,73	9	15,57	1,52	13,68	8,53	22,21	15,57	27,12

11	Участок №2	1823	91,15	20	0,12	0,4	2,3	218,76	503,14	1,65	360,95	36,44	397,39	503,15	641,16
12	Цех отделки прутков	3787	172,14	22	0,12	0,4	2,3	454,44	1045,21	1,55	704,38	12,62	717,01	1045,21	1267,5
13	Машинный зал	208	17,33	12	0,7	0,85	0,62	145,6	90,27	1,15	167,44	5,96	173,4	90,27	195,49
	Итого	11416	2,5..172,1	150	0,211	0,59	1,368	2410,8	3298,25	-	3826,56	242,71	4105,72	3336,18	5290,2
Нагрузка 6 кВ															
9	Гидравлическая станция (СД)	2520	630	4	0,8	0,9	0,48	2016	967,68	1,14	2298,24	-	2298,24	1064,45	2532,78
13	Машинный зал (СД)	3200	800	4	0,8	0,9	0,48	2560	1228,8	1,14	2918,4	-	2918,4	1351,68	3216,22
	Итого по нагрузке 6 кВ	5720	800	8	0,8	0,9	0,48	4576	2196,48	-	5216,64	-	5216,64	2416,12	5749,01
	Итого	17136	800	158	0,408	0,78	0,786	6986,8	5494,73	-	9043,20	242,71	9322,36	5752,30	10954,24

3 Составление картограммы нагрузок

Выбор места расположения ГПП на территории предприятия имеет большое значение, так как это сказывается на построении распределительной сети. Главная понизительная подстанция или источник питания промышленного предприятия должны быть максимально приближены к центру электрических нагрузок (ЦЭН). Выполнение этого условия обеспечивает оптимальные технико-экономические показатели по расходу кабельно-проводниковой продукции и потерям электрической энергии в распределительной сети.

Получаемый масштаб картограммы нагрузок:

$$m = \frac{P_{н.м.}}{\pi \cdot R} = \frac{12}{3.14 \cdot 0,005^2} = 152866, \text{ кВт/км}^2,$$

где $P_{н.м.}$ – наименьшая мощность из всех цехов, кВт; R - визуально воспринимаемый радиус картограммы нагрузки, км.

Определяются радиусы окружности R_i активных нагрузок всех цехов для построения картограммы нагрузок, по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{m}}, \text{ км},$$

где P_i - расчётная нагрузка i -го цеха;

m – масштаб картограммы электрических нагрузок, кВт/км².

Для «ремонтно – механического цеха»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} = \sqrt{\frac{413}{3.14 \cdot 152866}} = 0.029, \text{ км, координаты (50;384)}.$$

Для «участка №1»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{1694}{3.14 \cdot 152866}} = 0.059, \text{ км, координаты (164;340).}$$

Для «управления»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{615}{3.14 \cdot 152866}} = 0.036, \text{ км, координаты (103;290).}$$

Для «отделения отделки»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{459}{3.14 \cdot 152866}} = 0.030, \text{ км, координаты (216;216).}$$

Для «печного отделения»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{1822}{3.14 \cdot 152866}} = 0.062, \text{ км, координаты (244;292).}$$

Для «лаборатории»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{12}{3.14 \cdot 152866}} = 0.005, \text{ км, координаты (74;224).}$$

Для «травильного отделения»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{122}{3.14 \cdot 152866}} = 0.016, \text{ км, координаты (130;204).}$$

Для «котельной»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{381}{3.14 \cdot 152866}} = 0.028, \text{ км, координаты (20;220).}$$

Для «гидравлической станции»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{50}{3.14 \cdot 152866}} = 0.010, \text{ км, координаты (70;160).}$$

Для «эмульсионного отделения»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{30}{3.14 \cdot 152866}} = 0.008, \text{ км, координаты (70;120).}$$

Для «участка №2»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{1823}{3.14 \cdot 152866}} = 0.062, \text{ км, координаты (160;70).}$$

Для «цеха отделки прутков»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{3787}{3.14 \cdot 152866}} = 0.088, \text{ км, координаты (30;24).}$$

Для «машинного зала»:

$$R = \sqrt{\frac{P_i}{\pi n}} = \sqrt{\frac{208}{3.14 \cdot 152866}} = 0.021, \text{ км, координаты (40;50).}$$

Координаты ЦЭН:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i},$$

$$X_0 = \frac{413 \cdot 50 + 1694 \cdot 164 + 615 \cdot 103 + 459 \cdot 216 + 1822 \cdot 244 + 12 \cdot 74 + 122 \cdot 130 + 381 \cdot 20 + 50 \cdot 70 + 30 \cdot 70 + 1823 \cdot 160 + 3787 \cdot 30 + 208 \cdot 40}{413 + 1694 + 615 + 459 + 1822 + 12 + 122 + 381 + 50 + 30 + 1823 + 3787 + 208} = 118 \text{ м};$$

$$Y_0 = \frac{413 \cdot 384 + 1694 \cdot 340 + 615 \cdot 290 + 459 \cdot 216 + 1822 \cdot 292 + 12 \cdot 224 + 122 \cdot 204 + 381 \cdot 220 + 50 \cdot 160 + 30 \cdot 120 + 1823 \cdot 70 + 3787 \cdot 24 + 208 \cdot 50}{413 + 1694 + 615 + 459 + 1822 + 12 + 122 + 381 + 50 + 30 + 1823 + 3787 + 208} = 166 \text{ м}.$$

Координаты ЦЭН (118,166). Картограмма нагрузок представлена на рисунке 1. Размещение ГПП в ЦЭН невозможно, так как ЦЭН находится на территории здания, поэтому расположение ГПП смещено в сторону источника питания.

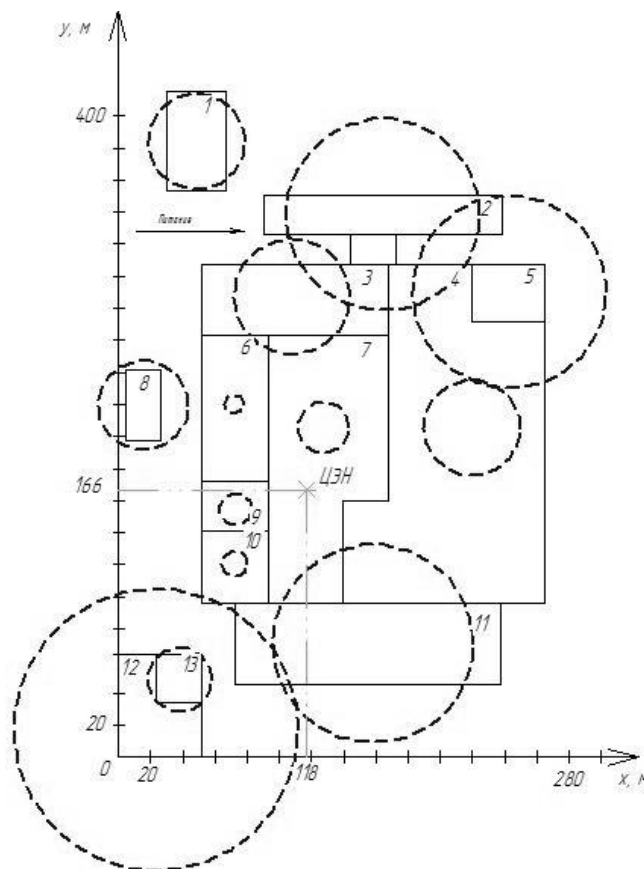


Рисунок 1 - Картограмма нагрузок термического производства металлургического завода

4 Выбор числа, мощности и типа цеховых трансформаторов

Мощность распределительных трансформаторов зависит от значений электрической нагрузки, а так же от категории надёжности электроприемников, размеров и площади цехов и т.д.

Плотность нагрузки:

$$\sigma = \frac{S_P}{F_{Ц}}, \text{кВА/м}^2$$

где S_P – расчетная нагрузка цеха, кВА; $F_{Ц}$ – площадь цеха, м².

1. Количество трансформаторов:

$$N_T = \frac{S_P}{K_T \cdot S_{HTЭ}},$$

2. Мощность цехового трансформатора, выбирается по выражению:

$$S_T \geq \frac{S_P}{K_T \cdot N_T}, \text{кВА},$$

где S_P – расчетная нагрузка цеха, кВА; K_T – коэффициент загрузки трансформаторов; N_T – количество трансформаторов; $S_{HTЭ}$ – оптимальная экономическая номинальная мощность трансформатора

Если имеется преобладание потребителей 1 категории, то коэффициент загрузки принимается - $K_T = 0,6 \div 0,7$; при преобладании потребителей 2 категории коэффициент загрузки - $K_T = 0,7 \div 0,8$; для потребителей 3 категории - $K_T = 0,9 \div 0,95$. Результаты выбора распределительных трансформаторов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Выбор распределительных трансформаторов сети термического производства

№	Наименование цеха	Уд. плотно- сть на- груз- ки, кВА/м ²	Целесообра- зная мощность одного трансформ- атора, кВА	Расчетная нагрузка, кВА	Категория надежности	Приятно		
						Мощнос- ть тр-ров на ТП	Число тр- ров на ТП	Кол - во ТП
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Ремонтно-механический цех	0,07	630	143,2125	2	160	2	1
2	Участок №1	0,214	1600	583,2047	2	630	2	1
3	Управление	0,14	1000	633,66	2	630	2	1
4	Отделение отделки	0,01	400	230,3745	2	250	2	1
5	Печное отд.	0,83	2500	1295,588	2	1000	2	1
6	Лаборатория	0,006	400	23,45823	3	40	1	1
7	Травильное отделение	0,01	400	145,5904	2	160	2	1
8	Котельная	0,3	1600	308,5576	2	250	2	1
9	Гидравлическая станция	0,04	400	47,95315	1	40	2	1
10	Эмульсионное отделение	0,02	400	27,12396	2	25	2	1
11	Участок №2	0,07	630	641,1551	2	630	2	1
12	Цех отделки прутков	0,49	2500	1267,501	2	1000	2	1
13	Машинный зал	0,203	1000	195,4906	2	250	2	1

Полученные результаты показали, что такой вариант построения распределительной сети с большим количеством трансформаторов различной мощности не оптимален. Так как на предприятии не целесообразно держать

большой парк трансформаторной мощности. Поэтому предлагается оптимальный вариант:

$$\text{ТП №1: } S_T \geq \frac{S_P}{K_T \cdot N_T} = \frac{143.213}{0.7 \cdot 2} = 102,3, \text{ кВА.}$$

Выбираем двух трансформаторную подстанцию, т.к. она питает цех второй категории надежности. При этом на ТП №1 устанавливаем два масляных распределительных трансформатора марки ТМ-160. Применяем к установки масляные трансформаторы так как ТП №1 находится на территории ремонтно – механического цеха, данный цех не взрывоопасен своим технологическим процессом.

$$\text{ТП №2: } S_T \geq \frac{S_P}{K_T \cdot N_T} = \frac{1447,56}{0.7 \cdot 2} = 1034, \text{ кВА.}$$

Принимаем к установке два трансформатора на ТП, т.к. у данной группы цехов присутствуют потребители второй категории надежности. Так же устанавливаем распределительные масляные трансформаторы марки ТМ-1600, так как ТП №2 находится на территории цеха управления который не является взрывоопасным по своему технологическому процессу.

$$\text{ТП №3: } S_T \geq \frac{S_P}{K_T \cdot N_T} = \frac{1295,58}{0.7 \cdot 2} = 925,4, \text{ кВА.}$$

Принимаем к установке два трансформатора на ТП, т.к. у данной группы цехов присутствуют потребители второй категории надежности. Так же устанавливаем распределительные масляные трансформаторы марки ТМ-1000, так как ТП 3 находится на территории печного отделения которое не является взрывоопасным по своему технологическому процессу.

$$\text{ТП №4: } S_T \geq \frac{S_P}{K_T \cdot N_T} = \frac{332,02}{0.7 \cdot 2} = 237,16, \text{ кВА.}$$

Принимаем к установке два трансформатора на ТП, т.к. у данной группы цехов присутствуют потребители второй категории надежности. Так же устанавливаем распределительные масляные трансформаторы марки ТМ-250,

так как ТП №4 находится на территории котельного цеха который не является взрывоопасным по своему технологическому процессу.

$$\text{ТП №5: } S_T \geq \frac{S_P}{K_T \cdot N_T} = \frac{861,81}{0,7 \cdot 2} = 615,6, \text{ кВА.}$$

Принимаем к установке два трансформатора на ТП, т.к. у данной группы цехов присутствуют потребители второй категории надежности. Так же устанавливаем распределительные масляные трансформаторы марки ТМ-630, так как ТП №5 находится на территории эмульсионного цеха который не является взрывоопасным по своему технологическому процессу. Питание ТП №5 происходит от РП№1 находящегося на территории гидравлической станции.

$$\text{ТП №6: } S_T \geq \frac{S_P}{K_T \cdot N_T} = \frac{1463}{0,7 \cdot 2} = 1045, \text{ кВА.}$$

Принимаем к установке два трансформатора на ТП, т.к. у данной группы цехов присутствуют потребители второй категории надежности. Так же устанавливаем распределительные масляные трансформаторы марки ТМ- ТМ-1600, так как ТП №6 находится на территории цеха отделки прутков который не является взрывоопасным по своему технологическому процессу. Питание ТП №6 происходит от РП№2 находящегося на территории машинного зала.

Определив подходящий вариант построения распределительной сети по территории металлургического предприятия получили: шесть трансформаторных подстанций и два распределительных пункта. Применение распределительных пунктов при построении распределительной позволяет избавиться от дополнительных кабельных прокладок и тем самым снизить капитальные вложения в распределительную сеть.

5 Выбор схемных решений в системе электроснабжения

Для выбора варианта схемы внешнего электроснабжения необходимо определить значение рационального напряжения сети:

$$U_{РАЦ\ i} = 4,34\sqrt{L_i + 0,016P_{PI}}, \text{ кВ},$$

где L_i – длина питающей линии; P_{PI} – расчетная нагрузка предприятия.

Расчетная нагрузка предприятия складывается из следующих составляющих:

$$P_{PI} = P_{PH} + P_{PB} + P_{OCB} + \Delta P_{T\Sigma}, \text{ кВт},$$

где P_{PH} – расчетная мощность цехов предприятия по низкой стороне; P_{PB} – расчетная мощность высоковольтных потребителей по предприятия; P_{OCB} – расчетная мощность освещения по предприятию; $\Delta P_{T\Sigma}$ – суммарные потери мощности в распределительных трансформаторах металлургического предприятия.

Потери мощности в распределительных трансформаторах приближенно можно определить по формуле:

$$\Delta P_T = N(0,02S_{T\text{НОМ}}),$$

где N – количество установленных трансформаторов на ТП; $S_{T\text{НОМ}}$ – номинальная мощность единичного трансформатора:

$$\Delta P_{T1} = 2 \cdot 0,02 \cdot 160 = 6,4 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{T2} = 2 \cdot 0,02 \cdot 1600 = 64 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{T3} = 2 \cdot 0,02 \cdot 1000 = 40 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{T4} = 2 \cdot 0,02 \cdot 250 = 10 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{T5} = 2 \cdot 0,02 \cdot 630 = 25,2 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{T6} = 2 \cdot 0,02 \cdot 1600 = 64 \text{ кВт}.$$

Сумма потерь мощности в распределительных трансформаторах:

$$\begin{aligned}\Delta P_{T\Sigma} &= \Delta P_{T1} + \Delta P_{T2} + \Delta P_{T3} + P_{T4} + \Delta P_{T5} + \Delta P_{T6}, \text{ кВт.} \\ &= 6,4 + 100 + 40 + 10 + 25,2 + 64 = 245,6\end{aligned}$$

После определения суммарных потерь в распределительных трансформаторах определяем расчетную (максимальную) мощность металлургического предприятия:

$$P_{PI} = 3826,56 + 5216,64 + 242,71 + 245,6 = 9531,51, \text{ кВт.}$$

Определим величину рационального напряжения:

$$U_{РАЦi} = 4,34\sqrt{10 + 0,016 \cdot 9531,51} = 55,33, \text{ кВ.}$$

Исходя из полученного значения и используя шкалу стандартных напряжений выбираем ближайшее большее значение. Напряжение внешнего электроснабжения термического производства металлургического завода – 110 кВ.

Определим полную расчетная мощность термического предприятия металлургического завода:

$$S_{PIi} = \sqrt{P_{PI}^2 + Q_{ЭСi}^2},$$

где $Q_{ЭСi}$ – экономически целесообразная реактивная мощность на стороне ВН ГПП термического предприятия, потребляемая из энергосистемы:

$$Q_{ЭСi} = P_{PI} \operatorname{tg} \varphi_i = 9531,51 \cdot 0,28 = 2668,23, \text{ кВар,}$$

где $\operatorname{tg} \varphi_i$ – оптимальный коэффициент реактивной мощности принимается равным 0,28 для уровня напряжения ГПП 110 кВ.

Полную расчетная (максимальная) мощность предприятия:

$$S_{PIi} = \sqrt{P_{PI}^2 + Q_{ЭСi}^2} = \sqrt{9531,31^2 + 2668,23^2} = 9898, \text{ кВт.}$$

Так как на предприятии присутствуют потребители первой и второй категории надежности, ГПП термического производства принимается двухтрансформаторной. Мощность силового трансформатора ГПП с учетом допустимой аварийной перегрузки:

$$S_{НОМ Т} \geq \frac{S_{ПИ} \cdot K_{1-2}}{K_{ПЕР}} = \frac{9898 \cdot 0,8}{1,4} = 5656, \text{ кВт},$$

где K_{1-2} – коэффициент участия в нагрузке предприятия потребителей 1-й и 2-й категории, для ГПП термического производства металлургического завода принимают равным 0,8; $K_{ПЕР}$ – коэффициент приближенной допустимой аварийной перегрузки трансформатора, согласно требованиям ГОСТ допускается перегрузка 40%.

Используя стандартную шкалу мощностей силовых трансформаторов к расчету оптимального варианта принимаем два силовых трансформатора исходя из условия:

$$S_{НОМ Т2} > S_{НОМ Т1} \geq S_{НОМ Т}.$$

Исходя из условия рассмотрим вариант установки трансформаторов мощностью ТМН 6300/110/6 и ТДН 10000/110/6.

Годовой график нагрузки для термического производства металлургического завода представлен на рисунке 2.

По графику (рисунок 2) определим потребляемую электроэнергию:

$$W_{XIV} = (9,89 \cdot 1 + 9,57 \cdot 1 + 9,27 \cdot 2 + 8,9 \cdot 2 + 8,4 \cdot 1,5 + 7,4 \cdot 1 + 6,9 \cdot 0,26) \cdot 10^3 = 77574, \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Продолжительность максимальной годовой нагрузки ПС:

$$T_{\text{м}} = \frac{W_{ПС}}{P_{ПН}} = \frac{77574}{9,531} = 8139, \text{ час}.$$

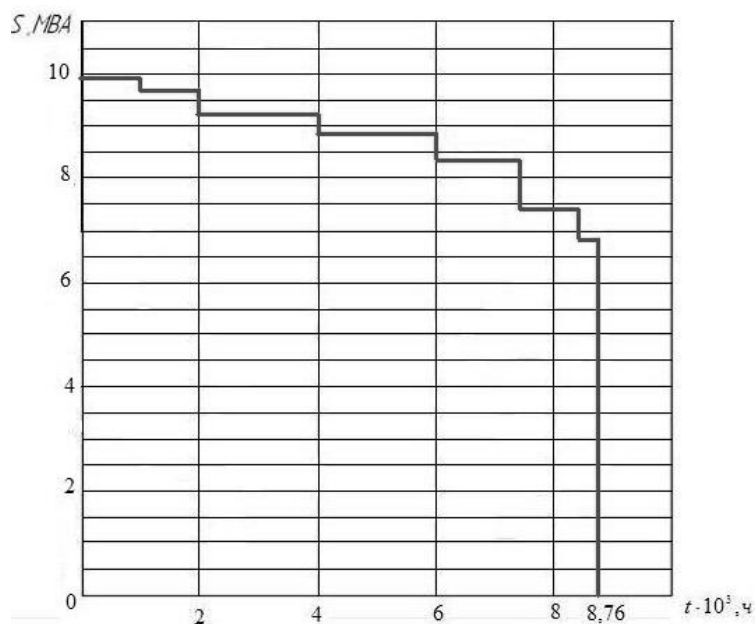


Рисунок 2 – Годовой график нагрузки термического производства
 Вариант 1 с трансформатором ТМН 6300/110/6.

Таблица 4 – Паспортные данные силового трансформатора марки ТМН 6300/110/6

Тип	$S_{НОМ Т}$, МВА	Каталожные данные					
		$U_{НОМ}$ обмоток, кВ		u_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %
		ВН	НН				
ТМН 6300/110/6	6,3	115	6,6	10,5	48	10	1

Приведенные потери мощности:

$$P'_T = P'_x + \kappa_3^2 \cdot P'_k = 13,2 + 1,53^2 \cdot 81,1 = 63,8, \text{ кВт},$$

где $P'_x = \Delta P_x + \kappa_{ин} \cdot Q_x = 10 + 0,05 \cdot 63 = 13,2$, кВт – приведенные холостого хода;

ΔP_x – паспортное значение потерь мощности в режиме х.х; $\kappa_{ин}$ – коэффициент

изменения потерь $0,05 \text{ кВт} / \text{квар}$; $Q_x = \frac{I_x(\%)}{100} \cdot S_{НОМ Т} = \frac{1}{100} \cdot 6300 = 63$, кВАр -

потери реактивной мощности режиме х.х; $I_x(\%)$ - ток холостого хода, %;

$\kappa_3 = \frac{S_{ПИ i}}{S_{НОМ Т}} = \frac{9898}{6300 \cdot 2} = 0,79$ - коэффициент загрузки СТ; $S_{ПИ i}$ - расчётная

нагрузка СТ, кВА; $S_{НОМ Т}$ - номинальная мощность СТ, кВА;

$$P'_k = \Delta P_k + \kappa_{un} \cdot Q_k = 48 + 0,05 \cdot 661,5 = 81,1, \text{ кВт} - \text{приведенные потери к.з.};$$

$$Q_k = \frac{U_x(\%)}{100} \cdot S_{НОМ Т} = \frac{10,5}{100} \cdot 6300 = 661,5, \text{ кВАр} - \text{потери реактивной мощности}$$

СТ в режиме к.з. (квар); $U_k(\%)$ - напряжение к.з. СТ, %;

Для двухобмоточных трёхфазных СТ потери электроэнергии - ΔW_{nc} определяются из следующего обобщенного выражения:

$$\begin{aligned} \Delta W_{nc} &= \sum \Delta W_{xi} + \sum W_{ki} = \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{k.ei} + \sum \Delta W_{k.ni} + \sum \Delta W_{k.n2i} = \\ &= \sum n_i \cdot P'_x \cdot T_i + \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{n} \cdot P'_{k.e} \cdot k_{3.ei}^2 \cdot T_i \right), \end{aligned}$$

где i – номер ступени ГН; n_i – число СТ на ГПП работающие на i -ой ступени ГН; S_{B_i} - расчетные мощности соответствующих обмоток трансформаторов из ГН на i -той ступени; T_i - продолжительность нахождения нагрузки S_i на i -ой ступени.

Расчет потерь электроэнергии (ЭЭ) в трансформаторах представлен в таблице 5.

Таблица 5 - Расчет потерь ЭЭ

i	$S_{B_i},$ МВА	n_i	$T_i, \text{ч}$	$\Delta W_{xi},$ кВт·ч	$k_{3.ei}$	$\Delta W_{k.ei},$ кВт·ч
1	9,89	2	1000	26400	0,79	24982,87
2	9,57	2	1000	26400	0,76	23392,34
3	9,27	2	2000	52800	0,73	43897,44
4	8,9	2	2000	52800	0,7	40463,16
5	8,4	2	1500	39600	0,67	27033,33
6	7,4	2	1000	26400	0,59	13986,63
7	6,9	2	260	6864	0,55	3161,71
				$\sum \Delta W_X = 231264$		$\sum \Delta W_K = 176917,5$
				$\Delta W_{nc} = \sum \Delta W_X + \sum \Delta W_K = 408181,5$		

Экономическая нагрузка ГПП:

$$S_{э.пс} = S_{ном.Т} \cdot \sqrt{n \cdot (n-1) \cdot \frac{P'_x}{P'_k}} = 6300 \cdot \sqrt{2(2-1) \cdot \frac{13,2}{81,1}} = 3594,4 \text{ кВА.}$$

Стоимость годовых потерь электроэнергии в трансформаторах ГПП:

$$I_э = \Delta W_{пс} \cdot C_э = 408181,5 \cdot 1,34 = 546963,2, \text{ руб.},$$

где $\Delta W_{пс}$ – годовые потери электроэнергии в трансформаторах, $кВт \cdot ч$; $C_э$ – стоимость 1 $кВт \cdot ч$ электроэнергии, руб/ $кВт \cdot ч$:

$$C_э = \frac{\alpha}{T_M} + \beta = \frac{3600}{8139} + 0,9 = 1,34, \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

где α, β – основная и дополнительная ставки двухставочного тарифа.

Приведенные затраты:

$$\begin{aligned} Z_{пр} &= E_H \cdot K + I = E_H \cdot K + I_о + I_э = \\ &= 0,25 \cdot 3500000 \cdot 2 + 658000 + 546963,2 = 2954963,2, \text{ руб.} \end{aligned}$$

где K – капитальные затраты на оборудование ГПП, руб; E_H – нормативный коэффициент дисконтирования; I – годовые эксплуатационные издержки, руб; $I_о$ – годовые отчисления, руб:

$$I_о = p_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 7000000 = 658000, \text{ руб.},$$

где $p_{сум}$ – суммарный коэффициент отчислений $p_{сум} = 0,094$.

Вариант ГПП с трансформаторами марки ТДН 10000/110/6.

Таблица 6 - Паспортные данные силового трансформатора марки ТДН 10000/110/6

СТ	$S_{ном}, МВА$	Параметры СТ					
		$U_{ном} \text{ обмоток, кВ}$		$u_k, \%$	$\Delta P_k, кВт$	$\Delta P_x, кВт$	$I_x, \%$
		ВН	НН				
ТДН 10000/110/ 6	10	115	6,6	10,5	60	14	0,9

Приведенные потери мощности определяются из выражения:

$$P'_T = P'_x + \kappa_3^2 \cdot P'_k = 18,5 + 0,5^2 \cdot 112,5 = 46,65, \text{ кВт}$$

где $P'_x = \Delta P_x + \kappa_{un} \cdot Q_x = 14 + 0,05 \cdot 90 = 18,5$, кВт - приведенные потери активной мощности трансформатора в режиме холостого хода;

$$Q_x = \frac{I_x(\%)}{100} \cdot S_{НОМ Т} = \frac{0,9}{100} \cdot 10000 = 90, \quad - \quad \text{потери реактивной мощности трансформатора в режиме х.х. (кВАр);}$$

$$\kappa_3 = \frac{S_{ПП i}}{S_{НОМ Т}} = \frac{9898}{10000 \cdot 2} = 0,5 \quad - \quad \text{коэффициент загрузки трансформатора;}$$

коэффициент загрузки трансформатора;

$$P'_k = \Delta P_k + \kappa_{un} \cdot Q_k = 60 + 0,05 \cdot 1050 = 112,5, \quad - \quad \text{потери мощности к.з. трансформатора (кВт);}$$

$$Q_k = \frac{U_x(\%)}{100} \cdot S_{НОМ Т} = \frac{10,5}{100} \cdot 10000 = 1050 \quad - \quad \text{потери реактивной мощности трансформатора в режиме к.з. (кВАр);}$$

реактивной мощности трансформатора в режиме к.з. (кВАр);

Расчет потерь электроэнергии в трансформаторах сведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Расчет потерь ЭЭ в СТ

i	S_{B_i} , кВА	n_i	T_i , ч	ΔW_{xi} , кВт·ч	$k^2_{3.вi}$	$\Delta W_{к.вi}$, кВт·ч
1	9,89	2	1000	37000	0,49	13754,83
2	9,57	2	1000	37000	0,48	12879,13
3	9,27	2	2000	74000	0,46	24168,63
4	8,9	2	2000	74000	0,45	22277,81
5	8,4	2	1500	55500	0,42	14883,75
6	7,4	2	1000	37000	0,37	7700,63
7	6,9	2	260	9620	0,35	1740,74
				$\sum \Delta W_X = 324120$		$\sum \Delta W_K = 97405,51$
				$\Delta W_{nc} = \sum \Delta W_X + \sum \Delta W_K = 421525,5$		

Экономическая нагрузка трансформаторов:

$$S_{э.нс} = S_{НОМ.Т} \cdot \sqrt{n \cdot (n-1) \cdot \frac{P'_x}{P'_k}} = 6300 \cdot \sqrt{2(2-1) \cdot \frac{13,2}{81,1}} = 3594,4, \text{ кВА.}$$

Стоимости годовых потерь ЭЭ в СТ на ГПП для варианта 2:

$$I_9 = \Delta W_{nc} \cdot C_9 = 421525,5 \cdot 1,34 = 564844,2, \text{ руб.}$$

где ΔW_{nc} – годовые потери электроэнергии в трансформаторах, кВт·ч.

Значение приведенных затрат:

$$Z_{np} = 0,25 \cdot 4000000 \cdot 2 + 564844,2 + 752000 = 3316844,2, \text{ руб.}$$

где I_0 – годовые отчисления, руб:

$$I_0 = p_{cym} \cdot K = 0,094 \cdot 4000000 \cdot 2 = 752000, \text{ руб.}$$

По наименьшей сумме приведённых затрат к установке на ГПП металлургического предприятия принимаем два силовых трансформатора марки ТМН 6300/110/6.

Схема ГПП металлургического предприятия показана на рисунке 3.

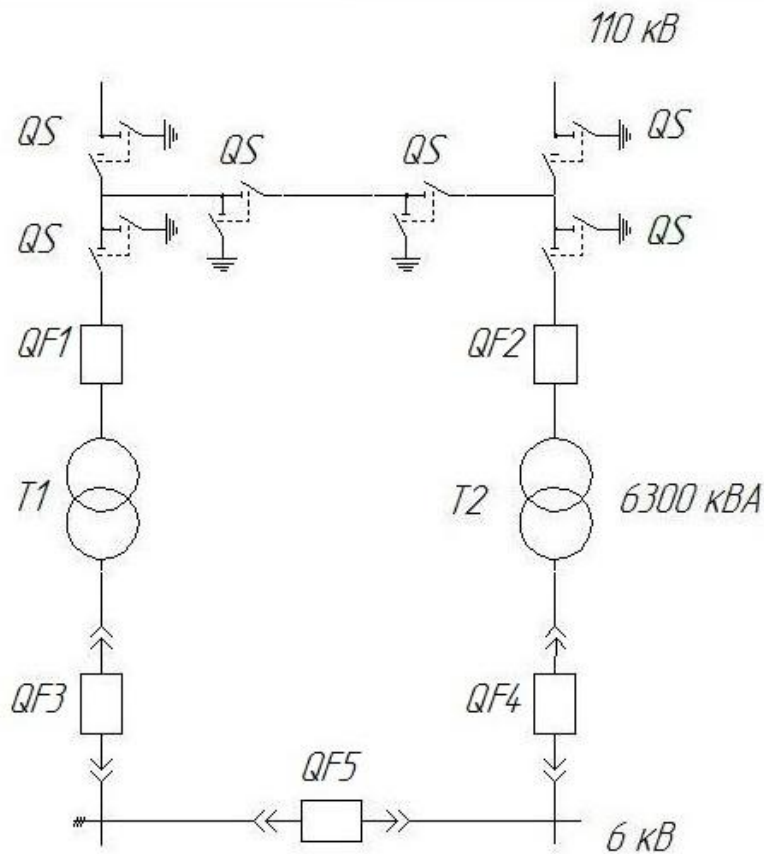


Рисунок 3 – Типовая схема подстанции 110/6 кВ

6 Расчет и выбор устройств компенсации реактивной мощности

Для группы цехов термического производства металлургического завода известны значения активных и реактивных расчетных мощностей и Q_{\min} которая определяется по годовому ГН предприятия. Для металлургического завода $Q_{\min}=40\%$ по отношению к расчетному максимуму, $P_{p\Sigma}$, $Q_{p\Sigma}$, Q_{\min} даны в таблице 8.

Таблица 8 - Расчетные значения $P_{p\Sigma}$, $Q_{p\Sigma}$, Q_{\min}

№п.п.	Наименование потребителя	$P_{p\Sigma}$ кВт	$Q_{p\Sigma}$ квар	Q_{\min} квар
1	Ремонтно-механический цех	76,82	113,988	58,4
2	Участок №1	1045,7	606,9	442,76
3	Управление			
4	Отделение отделки			
5	Печное отделение	1093,2	683,3	353,32
6	Лаборатория	247,7	185,5	94,2
8	Котельная			
7	Травильное отделение	491,4	611	294,8
9	Гидравлическая станция			
10	Эмульсионное отделение			
11	Участок №2			
12	Цех отделки прутков	871,78	1135,5	582,2
13	Машинный зал			

Потери в трансформаторах:

$$\Delta P_T = N(0,02S_{T \text{ ном}}) = 2(0,02 \cdot 160) = 6,4, \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = N(0,02S_{T \text{ ном}}) = 2(0,1 \cdot 160) = 32, \text{ квар}.$$

Расчетная нагрузка с учетом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T = 76,818 + 6,4 = 83,22, \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T = 113,988 + 32 = 146, \text{ кВар}.$$

1. Значения реактивной мощности в период максимальных нагрузок, основанные на экономическом обосновании:

Для ремонтно – механического цеха:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0.7 \cdot Q_{\text{сд}} = 113,98, \text{ кВар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 76,82 = 21,51, \text{ кВар},$$

где $\alpha = 0.28; Q_{\text{сд}} = 0$.

Вследствие снижения напряжения в часы максимума энергопотребления берем меньшее из значений.

Для ремонтно – механического цеха:

$$Q_{\text{э1}} = 21,51, \text{ кВар} .$$

2. Значения реактивной мощности в период наименьших нагрузок, основанные на экономическом обосновании:

Для ремонтно – механического цеха:

$$Q'_{\text{э2}} = Q_{\text{min}} + Q_k = 58,4, \text{ кВар} ,$$

где $Q_k = 0$;

$$Q''_{\text{э2}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э1}}) = 58,4 - (113,9 - 21,51) = -34, \text{ кВар} .$$

Вследствие повышения напряжения в часы минимума энергопотребления берем значение мощности: $58,4, \text{ кВар}$.

Для ремонтно – механического цеха:

$$Q_{\text{э2}} = 58,4, \text{ кВар} .$$

3. Суммарная мощность компенсирующих устройств:

Для ремонтно – механического цеха:

$$Q_{\text{ку.max}} = 1.1 \cdot Q_p - Q_{\text{э1}} = 1,1 \cdot 146 - 21,51 = 139,1 \text{ кВар};$$

$$Q_{\text{ку.min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}} = 58,4 - 58,4 = 0, \text{ кВар} .$$

Таблица 9 и таблица 10 содержат расчетные данные по участкам.

Таблица 9 - Расчет реактивной мощности

№ п.п.	Наименование потребителя	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , квар	$Q_{ку\ max}$, квар	$Q_{ку\ min}$, квар
1	Ремонтно-механический цех	6,4	32	139,1	0
2	Участок №1	100	500	896,8	0
3	Управление				
4	Управление				
5	Печное отделение	40	200	654,33	0
6	Лаборатория	10	50	186,85	0
8	Котельная				
7	Травильное отделение	25,2	126	666,1	0
9	Гидравлическая станция				
10	Эмульсионное отделение				
11	Участок №2				
12	Цех отделки прутков	64	320	1339	0
13	Машинный зал				

Проведенные расчеты показывают, что компенсирующие устройства следует взять регулируемые.

Реактивная мощность, передаваемая из сети напряжением 6 кВ в сеть до 1кВ и не компенсируемая:

$$Q_{эн} = Q_{э1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}) = 21,51 - (146 - 113,9) = -10,49, \text{ квар.}$$

Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 6 кВ в сеть напряжением до 1кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{н.Т})^2 - P_{p\Sigma}} = 210,42, \text{ квар.}$$

Мощность компенсирующих устройств, устанавливаемых в сети до 1кВ:

$$Q_{KV.н} = Q_{p\Sigma} - Q_T = -96,43, \text{ квар.}$$

Таблица 10 - Расчет реактивной мощности

№ п.п.	Наименование потребителей	P_p кВт	Q_p квар	Q_{min} квар	$Q'_{\text{э}1}$ квар	$Q''_{\text{э}1}$ квар	$Q'_{\text{э}2}$ квар	$Q''_{\text{э}2}$ квар	$Q_{\text{э}1}$ квар	$Q_{\text{э}2}$ квар
1	Ремонтно-механический цех	83,22	146	58,4	146	21,51	58,4	-34	21,51	58,4
2	Участок №1	1145,7	1106,9	442,76	1106,9	320,8	442,76	-343,3	320,8	442,76
3	Управление									
4	Управление									
5	Печное отделение	1133,2	883,3	353,32	883,3	317,3	353,32	-248,7	317,3	353,32
6	Лаборатория	257,7	235,5	94,2	235,5	72,2	94,2	-69,1	72,2	94,2
8	Котельная									
7	Травильное отделение	516,6	737	294,8	737	144,65	294,8	-297,55	144,65	294,8
9	Гидравлическая станция									
10	Эмульсионное отделение									
11	Участок №2									
12	Цех отделки прутков	935,78	1455,5	582,2	1455,5	262,01	582,2	-611,29	262,01	582,2
13	Машинный зал									

Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 6 кВ:

$$Q_{КУ.6} = Q_{КУ.маx} - Q_{КУ.н} = 235,53, \text{ квар.}$$

Поскольку $Q_{КУ.6} < 800$ квар, то установка БК на напряжение 6 кВ нецелесообразна.

Результаты представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Расчет реактивной мощности

№ п.п.	Наименование потребителей	$Q_{эн}$ квар	$Q_{т}$ квар	$Q_{ку н}$ квар	$Q_{ку в}$ квар
1	Ремонтно-механический цех	-10,502	210,42	-96,43	235,53
2	Участок №1	-179,2	1980,94	-1374	2270,84
3	Управление				
4	Управление				
5	Печное отделение	117,3	874,59	-191,3	845,62
6	Лаборатория	22,2	247,27	-61,8	248,62
8	Котельная				
7	Травильное отделение	18,65	732,43	-121,43	787,53
9	Гидравлическая станция				
10	Эмульсионное отделение				
11	Участок №2				
12	Цех отделки прутков	-57,99	2063,4	-927,9	2266,9
13	Машинный зал				

Проведенные расчеты позволяют сделать вывод, что компенсация реактивной мощности не целесообразна для цеха 1 (Ремонтно-механический цех) и цехов 6,8,9,7,10,11 (Лаборатория, котельная, травильное отделение, гидравлическая станция, эмульсионное отделение, участок №2) по высокой стороне. Таблица 12 дает распределение БК по цехам.

Таблица 12 - Выбор мощности компенсирующих устройств

№ п.п.	Наименование потребителей	Номер ТП	Расчетная мощность БК ВН, кВАр	Расчетная мощность БК НН, кВАр	Принимаемая мощность БК ВН, кВАр	Принимаемая мощность БК НН, кВАр	Тип БК
1	Ремонтно-механический цех	ТП1	235,53	-96,43	-	-	-
2	Участок №1	ТП2	2270,84	-1374	1350	-	2 x КРМ-6-1350-30У3
3	Управление						
4	Отделение отделки						
5	Печное отделение	ТП3	845,62	-191,3	1000	-	КРМ-6-1000-30У3
6	Лаборатория	ТП4	248,62	-61,8	-	-	-
8	Котельная						
7	Травильное отделение	ТП5	787,53	-121,43	-	-	-
9	Гидравлическая станция						
10	Эмульсионное отделение						
11	Участок №2						
12	Цех отделки прутков	ТП6	2266,9	-927,9	1350	-	2 x КРМ-6-1350-30У3
13	Машинный зал						

7 Расчет токов короткого замыкания

На рисунке 4 представлена расчётная схема (а) и схема замещения (б).

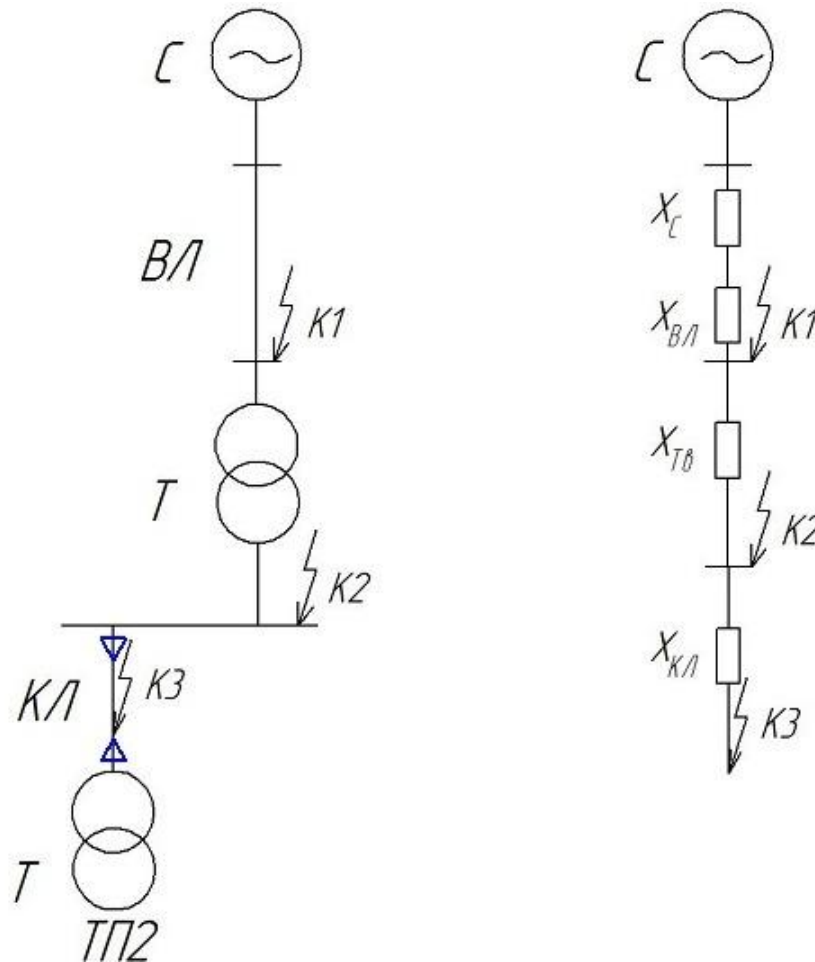


Рисунок 4 - Расчётная схема (а) и схема замещения (б)

Расчет токов короткого замыкания будет проводиться для ТП2, так как данная ТП мощная и наиболее близкая по расположению к ГПП.

Расчет сопротивлений элементов схемы:

$$x_{\bullet, \delta, c} = \frac{S_{\delta}}{S_{\kappa}} = \frac{1000}{3600} = 0,28;$$

$$x_{\bullet, \delta, T_{\epsilon}} = \frac{U_{к.в}, \%}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{номТ}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{6,3} = 16,7;$$

$$x_{\bullet, \delta, вл} = x_{уд} l \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 10 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,3;$$

$$x_{*\bar{\sigma},kl} = x_{y\delta} l \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp}^2} = 0,08 \cdot 0,059 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 0,12.$$

Трехфазное КЗ в точке К1:

$$x_{*\text{рез}(\bar{\sigma})} = x_{*\bar{\sigma},c} + x_{*\bar{\sigma},вл} = 0,28 + 0,3 = 0,58;$$

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02, \text{ кА};$$

$$I_{n,o}^3 = \frac{E''_{*\bar{\sigma}}}{x_{*\text{рез}(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma}} = \frac{1}{0,58} \cdot 5,02 = 8,65, \text{ кА}.$$

Ударный ток в точке К1:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \cdot k_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 8,65 \cdot 1,8 = 22,02, \text{ кА},$$

где $K_{уд}=1,8$.

Трехфазное КЗ в точке К2:

$$x_{*\text{рез}(\bar{\sigma})} = x_{*\bar{\sigma},c} + x_{*\bar{\sigma},вл} + x_{*\bar{\sigma},ТВН} = 0,28 + 0,3 + 16,7 = 17,28;$$

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,6, \text{ кА};$$

$$I_{n,o}^3 = \frac{E''_{*\bar{\sigma}}}{x_{*\text{рез}(\bar{\sigma})}} \cdot I_{\bar{\sigma}} = \frac{1}{17,28} \cdot 91,6 = 5,3, \text{ кА}.$$

Ударный ток в точке К2:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \cdot k_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 5,3 \cdot 1,92 = 14,39, \text{ кА},$$

где $K_{уд}=1,92$.

Трехфазное КЗ в точке К3:

$$x_{*\text{рез}(\delta)} = x_{*\delta,c} + x_{*\delta,вл} + x_{*\delta,ТВН} + x_{*\delta,кл} = 0,28 + 0,3 + 16,7 + 0,12 = 17,4;$$

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,6, \text{ кА};$$

$$I_{n,o}^{(3)} = \frac{E''_{*\delta}}{x_{*\text{рез}(\delta)}} \cdot I_{\delta} = \frac{1}{17,4} \cdot 91,6 = 5,26, \text{ кА}.$$

Найдем ударный ток в точке К3:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \cdot k_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 5,26 \cdot 1,4 = 10,42, \text{ кА},$$

где $K_{уд}=1,4$.

Данные расчетов приводятся в таблице 13.

Таблица 13 - Результаты расчета токов КЗ

№ п/п	U _н , кВ	K _{уд}	I ⁽³⁾ _{п.о} , кА	i _{уд} , кА
К1	110	1.8	8.65	22.02
К2	6	1.92	5,3	14,39
К3	6	1.4	5,26	10,42

8 Выбор аппаратов и проводников ГПП термического производства

8.1 Выбор электрических аппаратов на стороне ВН

Расчетный ток продолжительного режима с учетом перегрузки 40 %:

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{S_{T.\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = 1,4 \cdot \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 115} = 44,3, \text{ А.}$$

8.1.1 Выбор выключателя

Параметры выбора выключателя.

1. Номинальное напряжение:

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}};$$

2. Номинальный ток:

$$I_{\text{НОМ}} \geq I;$$

3. Отключающая способность:

а) На симметричный ток отключения:

$$I_{\text{ОТКЛ.НОМ.}} \geq I_{\text{ПТ}};$$

б) На отключение апериодической составляющей тока КЗ:

$$i_{\text{а,НОМ}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}} \geq i_{\text{а.т}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{ПТ}},$$

4. Предельному сквозному току КЗ – на электродинамическую стойкость:

$$I_{\text{пр.с.}} \geq I_{\text{п.о}};$$

$$i_{\text{пр.с}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{пр.с}} \geq i_{\text{уд.}}$$

5. Проверка на термическую стойкость:

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k;$$

Значения параметров выключателя приводятся в таблице 14.

Таблица 14 - Данные выключателя Siemens 3AP1DT – 126 kV по расчету и по каталогу

Выключатель Siemens 3AP1DT – 126 kV	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 126 \text{ кВ}$
$I_{max} = 44,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
$I_{н,о}^3 = 8.65 \text{ кА}$	$I_{откл.ном.} = 40 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{н,т} + i_{а,т} = 20.46 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{откл.ном.} \cdot (1 + \beta_{ном.} / 100) = 68 \text{ кА}$
$i_{уд.} = 22.02 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 100 \text{ кА}$
$B_k = 8.65^2 \cdot 0.06 = 4.48 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{кном} = 320 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Выбираем элегазовый выключатель Siemens 3AP1DT – 126 kV производство ЗАО «АК Евроконтракт» по лицензии «Siemens AG» г. Москва.

8.1.2 Выбор разъединителей

Разъединитель выбираются по следующим параметрам:

1. Номинальному напряжению – $U_{ном} \leq U_{сет.ном.}$;
2. Номинальному току – $I_{ном.дл.} \leq I_{ном.}$;
3. Электродинамической стойкости – $I_{н,о} \leq I_{пр.с}, i_{уд.} \leq i_{пр.с}$;
4. Термической стойкости – $B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$, если $t_{откл} \leq t_T$, то $B_k \leq I_T^2 \cdot t_{откл}$;
5. Конструкции, роду установки.

Значения параметров разъединителей приводятся в таблице 15.

Таблица 15 - Данные разъединителей D300 –150УХЛ1+2Е по расчету и по каталогу

№	Наименование величины	Расчетные данные	Каталожн. данные
1	Номинальное напряжение, кВ	110	110
2	Номинальный ток, А	44,3	150
4	Динамическая стойкость, кА	22,02	100
5	Термическая стойкость, кАс ²	4,48	320

Выбираем разъединители D300 – 150УХЛ1+2Е производство ЗАО «AREVA T&D» г. Москва. Применение данных разъединителей обеспечивает надежную работу данной схемы.

8.1.3 Выбор трансформатора тока

Для выбора трансформатора тока установлены следующие параметры:

1. Номинальное напряжение:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

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

2. Номинальный длительный ток:

$$I_{норм} \leq I_{ном};$$

$$I_{норм} = 46.5 \leq I_{ном} = 200 \text{ (А)}.$$

3. Электродинамическая стойкость:

$$i_y \leq i_{эд};$$

$$i_y = 22,02 \leq i_{эд} = 40 \text{ (кА)}.$$

4. Тепловой импульс – термическая стойкость:

$$B_k \leq K_m^2 \cdot I_{ном}^2 \cdot t_m;$$

$$K_T^2 \cdot I_y^2 \cdot t_T = 25^2 \cdot 0.1^2 \cdot 3 = 75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$4,48 \leq 75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где $K_m = 25$ – термический коэффициент (по справочнику); t_T – длительность протекания тока термической устойчивости.

5. Вторичная нагрузка:

$$Z_n \leq Z_{n \text{ доп}};$$

$$R_{np} = Z_{2ном} - R_k = 0,8 - 0,1 = 0,7, \text{ Ом};$$

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{np}} = \frac{0,0175 \cdot \sqrt{3} \cdot 40}{0,7} = 1,73, \text{ мм}^2,$$

где $l_p = \sqrt{3} \cdot l$ – расчетная длина проводов для подключения приборов. Принятое сечение медных проводов 2,5 мм².

Выбираем трансформатор тока ТФЗМ-110-200/5 производство ЗАО «АББ УЭТМ» г. Екатеринбург.

8.2 Выбор электрических аппаратов на стороне НН

На ГПП предприятия распределительное устройство низкого напряжения выполняется закрытым с установкой комплектных распределительных устройств. К установке принимаем шкафы КРУ типа КРУН-6ЛМ. Паспортные данные представлены в таблице 16.

Таблица 16 - Паспортные данные КРУ типа КРУН-6ЛМ

Параметр	КРУ
	КРУН-6ЛМ
Номинальное напряжение, кВ	6
Номинальный ток, сборных шин, кА	630;1000;1600;2000
Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ	20; 31,5
Тип выключателя на ток до 1600 А	вакуумный ВВЭ-М-6
Типы трансформаторов тока	ТЛМ-6
Типы трансформаторов напряжения	НАМИТ-6

Расчетные токи продолжительного режима с учетом допустимой перегрузки:

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{S_{T.\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot 2} = 1,4 \cdot \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 808,3, A.$$

8.2.1 Выбор выключателей

Каталожные и расчетные значения сведены в таблицу 17.

Таблица 17 – Выбор выключателя на стороне НН

Выключатель ВВЭ-М-6-31,5/1000	
1	2
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 6 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 808,3 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$I_{\text{н.о}}^3 = 5,3 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном.}} = 31,5 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{н.т}} + i_{\text{а.т}} = 15,72 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.ном.}} \cdot (1 + \beta_{\text{ном.}} / 100) = 53,5 \text{ кА}$
$i_{\text{уд.}} = 14,39 \text{ кА}$	$i_{\text{н.р.с.}} = 100 \text{ кА}$
$B_{\kappa} = 1,68 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\kappa\text{ном}} = 198 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

8.2.2 Выбор трансформатора тока

К установке принимаем трансформатор тока марки ТЛМ – 6УТЗ.

Проверка трансформатора тока по условиям выбора сведены в таблицу 18.

Таблица 18 – Выбор трансформаторов тока

Трансформатор тока ТЛМ –6УТЗ	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 6 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 808,3 \text{ А}$	$I_{1\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$i_{\text{уд.}} = 14,39 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 125 \text{ кА}$
$B_{\kappa} = 1,68 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{Т.}}^2 \cdot t_{\text{Т}} = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

На стороне НН двухобмоточного трансформатора установлен комплект приборов представленный в таблице 19.

Определим сопротивление приборов:

$$R_{\text{приб.}} = S_{\text{приб.}} / I_2^2 = 6,5^2 / 5^2 = 0,26, \text{ Ом};$$

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44, \text{ Ом};$$

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot \sqrt{3} \cdot 40}{0,44} = 2,75, \text{ мм}^2.$$

где $l_p = \sqrt{3} \cdot l$ – расчетная длина проводов.

Сечение медных проводов исходя из условий прочности 3мм^2 .

Таблица 19 – Комплект приборов подключенных к трансформатору тока

Наименование прибора	Тип прибора	Нагрузка (В · А)
Амперметр	Э – 335	0,5
Ваттметр	Д – 305	0,5
Варметр	Д – 305	0,5
Счетчик P	САЧУ – И672М	2,5
Счетчик Q	СРЧУ – И673М	2,5
Σ		6,5

8.2.3 Выбор трансформатора напряжения

К установке принимаем трансформатор напряжения марки НАМИТ-6. Подсчет нагрузки подключенной к трансформатору напряжения сведен в таблицу 20.

Таблица 20 – Расчет нагрузки трансформатора напряжения

Наименование прибора	Тип прибора	Мощность катушки, В×А	Число катушек	cos φ	sin φ	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							<i>P, Вт</i>	<i>Q, вар</i>
Вольтметр	Э – 377	2	1	1	0	1	2	-
Фазный вольтметр	Э – 377	2	1	1	0	1	2	-
Ваттметр	Д – 305	0,5	2	1	0	1	3	-
Счетчик <i>P</i>	СРЧУ – И673М	2,5	2	0,35	0,9	3	1,75	4,68
Счетчик <i>Q</i>	САЭ – И672М	2,5	2	0,38	0,9	3	1,9	4,63
Вольтметр	Э – 377	2	1	1	0	1	2	-
Σ							10,65	9,31

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{\text{приб}} \cos \varphi)^2 + (\sum S_{\text{приб}} \sin \varphi)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} = \sqrt{10,65^2 + 9,31^2} = 14,1 \text{ В}\cdot\text{А};$$

$$S_{2\Sigma} = 14,1 \leq S_{\text{ном.}} = 200, \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Принятое к установке на ГПП металлургического предприятия оборудование отвечает все современным требованиям и нормам.

9 Выбор проводников распределительной сети

9.1 Напряжение и схема внутреннего электроснабжения

Напряжение внутреннего электроснабжения термического производства металлургического завода принимается равным 6 кВ, так как на территории предприятия имеются электроприемники на напряжение 6 кВ, а электроприемников с напряжением 10 кВ нет.

Схема внутреннего электроснабжения металлургического предприятия имеет вид – радиальной схемы, так как нагрузки, расположены в различных направлениях от источника питания.

9.2 Выбор и расчет кабелей распределительной сети

Так как продолжительность максимальной годовой нагрузки более 5000 ч ($T_m=8100$), то экономическая плотность тока для кабелей принимается равной $J_{эк}=1,2$, Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды принимаем 1,06. Поправочный коэффициент на рядом проложенные кабели: для участка от ГПП до цехов № 3,5,8,9,13 принимаем равным 0,58, а для участка от ГПП до цеха 1 равным 0,61.

Кабельная линия к ТП1

1) По длительно-допустимому току

$$I_{\text{продол.расч.}} \leq I_{\text{дл.доп}};$$

$$I_{\text{дл.доп}} = k_1 \cdot k_2 \cdot I_{\text{доп.ном}} = 1,06 \cdot 0,61 \cdot 13,12 = 32,33;$$

$$S_{\text{дл.доп}} = 16, \text{ мм}^2.$$

2) По экономической плотности тока

$$S_{э} = \frac{I_{\text{норм}}}{j_{э}} = 10,93 = 3 \times 16, \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель марки ААШв 3х16. Результаты расчета сведены в таблицу 21.

Таблица 21 - Выбор силовых кабелей

Наименование узла нагрузки питаемого КЛ	I_p А	$I_{\text{доп.ном}}$ А	k_1	k_2	$I_{\text{дл.доп}}$ А	$S_{\text{дл.доп}}$ мм ²	$j_э$	$S_э$ мм ²	Марка кабеля
к ТП1	13,12	50	1,06	0,61	32,33	3x16	1,2	10,93	ААШВ 3x16
к ТП2	132,65	160	1,06	0,58	98,368	3x205	1,2	110,54	ААШВ 3x120
к ТП3	118,73	130	1,06	0,58	79,92	3x170	1,2	98,94	ААШВ 3x120
к ТП4	30,43	50	1,06	0,58	30,74	3x16	1,2	25,36	ААШВ 3x35
к ТП5	79	85	1,06	0,58	52,26	3x35	1,2	65,83	ААШВ 3x70
к ТП6	134	160	1,06	0,58	98,39	3x205	1,2	111,67	ААШВ 3x120

10 Расчет релейной защиты ГПП термического производства

10.1 Расчет токов короткого замыкания

Внешняя система задается мощностью короткого замыкания. Определим сопротивление системы для минимального и максимального режимов:

$$x_{C \max} = \frac{U_{H.BH}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{115^2}{3600} = 3,67, \text{ Ом};$$

$$x_{C \min} = \frac{U_{H.BH}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{6,3^2}{1500} = 8,82, \text{ Ом}.$$

Сопротивление воздушной линии:

$$x_{Л} = x_0 \cdot l = 4, \text{ Ом}.$$

Сопротивление трансформатора:

$$x_T = \frac{U_{K.BH\%}}{100} \cdot \frac{U_{H.BH}^2}{S_{T.H}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{6,3} = 220,1, \text{ Ом}.$$

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$x_{\Sigma} = x_C + x_{Л} = 3,67 + 4 = 7,67, \text{ Ом}.$$

Трехфазный ток КЗ при внешнем КЗ:

$$I_{K.BH1}^{(3)} = \frac{U_{H.BH}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 7,67} = 8,65, \text{ кА};$$

$$I_{K.HH}^{(3)} = \frac{U_{H.BH}}{U_{HH}} \cdot I_{K.BH}^{(3)} = \frac{115}{6,3} \cdot 8,65 = 157,89, \text{ кА}.$$

Сопротивление трансформатора с учетом РПН:

$$x_{T.BH \min} = \frac{U_{K \min}}{100} \cdot \frac{U_{BH \min}^2}{S_{T.H}} = \frac{U_{K \min}}{100} \cdot \frac{[U_{BH \text{cp}} \cdot (1 - \frac{\Delta U_{РПН}}{100})]^2}{S_{T.H}},$$

$$x_{T.BH \min} = \frac{9,8}{100} \cdot \frac{[115 \cdot (1 - \frac{16,02}{100})]^2}{6300} = 144,9, \text{ Ом};$$

$$x_{T.BH \max} = \frac{U_{K \max}}{100} \cdot \frac{U_{BH \max}^2}{S_{T.H}} = \frac{U_{K \max}}{100} \cdot \frac{[U_{BH \text{cp}} \cdot (1 + \frac{\Delta U_{P11H}}{100})]^2}{S_{T.H}},$$

$$x_{T.BH \max} = \frac{11,71}{100} \cdot \frac{[115 \cdot (1 + 16,02/100)]^2}{6300} = 331, \text{ Ом},$$

где $\Delta U_{P11H}(\%)$ - половина полного диапазона регулирования напряжения РПН.

Значение тока КЗ на стороне ВН силового трансформатора при внешнем КЗ:

$$I_{K.BH \max}^{(3)} = \frac{U_{BH \text{cp}} \cdot (1 - \frac{\Delta U_{P11H}}{100})}{\sqrt{3} \cdot (x_C + x_{T \min} + x_{Л})} = \frac{115 \cdot (1 - \frac{16,02}{100})}{\sqrt{3} \cdot (3,67 + 144,9 + 4)} = 0,36, \text{ кА};$$

$$I_{K.HH \max}^{(3)} = I_{K.BH \max}^{(3)} \cdot \frac{U_{BH \text{cp}} \cdot (1 - \frac{\Delta U_{P11H}}{100})}{U_{HH}} = 5,51, \text{ кА}.$$

Минимальный ток КЗ при наибольшем сопротивлении питающей сети в минимальном режиме системы:

$$I_{K.BH \min}^{(3)} = \frac{U_{BH \text{cp}} \cdot (1 + \frac{\Delta U_{P11H}}{100})}{\sqrt{3} \cdot (x_C + x_{T \max} + x_{Л})} = \frac{115 \cdot (1 + \frac{16,02}{100})}{\sqrt{3} \cdot (3,67 + 331 + 4)} = 0,22, \text{ кА};$$

$$I_{K.HH \min}^{(3)} = I_{K.BH \min}^{(3)} \cdot \frac{U_{BH \text{cp}} \cdot (1 + \frac{\Delta U_{P11H}}{100})}{U_{HH}} = 0,22 \cdot \frac{115 \cdot (1 + \frac{16,02}{100})}{6,3} = 4,65, \text{ кА}.$$

Результаты расчета токов КЗ - в таблице 22.

Таблица 22 – Токи КЗ

Мощность трансформатора (МВА)	Мощность КЗ системы, МВА	Ток трехфазного КЗ (кА) на шинах НН подстанции, приведенное к	
		ВН	НН
		115кВ	6,3кВ
$S_{T \text{ ном}} = 6,3 \text{ МВА}$	$S_{K \max} = 5000$	0,36	5,51
	$S_{K \min} = 1500$	0,22	4,65

10.2 Расчет дифференциальной токовой защиты.

Расчет дифференциальной токовой защиты с реле РНТ – 565

Полученные результаты сводим в таблицу 23.

Таблица 23 - Расчет токовой защиты с реле типа РНТ – 565

№ п/п	Наименование величины		Расчетные формулы	$S_{Т.Н} = 6,3 \text{ МВА}$	
				115 кВ	6,3 кВ
1	2		3	4	5
1	Первичный ток на выводах трансформатора, А		$I_1 = \frac{S_{Т.Н}}{\sqrt{3} \cdot U_H}$	31.63	329.9
2	Схема соединения обмоток		K_{cx}	$\Delta 1,73$	Y 1
3	Коэффициент трансформации		K_1	200/5	1000/5
4	Вторичный ток, соответствующий номинальной мощности защиты, А		$I_{Н.В} = \frac{I_H \cdot K_{cx}}{K_1}$	0,9	2,89
5	Первичный расчетный ток небаланса, А		$I'_{НБ.рас} = (K_{ан} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U) \cdot I_{К\max}$ $K_{ан} = 1; K_{одн} = 1;$ $\varepsilon = 0,1; \Delta U = 0,16$	96,2	1474,2
6	Первичный ток срабатывания, А	По условию отстройки от макс. тока небаланса	$I_{СЗ1} \geq K_{отс} \cdot I'_{НБрас}$ $K_{отс} = 1,3$	125	1916,5

1	2	3	4	5	6
		По условию отстр-ки от броска тока	$I_{C32} \geq K_{отс} \cdot I_H$ $K_{отс} = 1,3$	41,2	750,62
7	Условие для выбора уставки реле, А		I_{C3pac}	125	1916,5
8	Предварительная Проверка Чувствительности		$K_{чпредв} = \frac{I_{K\min}^{(2)}}{I_{C3pac}}$ $I_{K\min}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{K\min}^{(3)}$	1,53	2,11

Полученные значения коэффициентов чувствительности ниже допустимого, следовательно, переходим к расчёту защиты, выполненной с реле серии ДЗТ – 11.

Расчет дифференциальной токовой защиты с реле ДЗТ – 11

Полученные результаты сводим в таблицу 24.

Таблица 24 - Расчет токовой защиты с реле типа ДЗТ - 11

№	Величина	Формула для расчета	$S_{Т.Н} = 6,3MBA$	
			115 кВ	6.3 кВ
1	2	3	4	5
1	Первичный ток на выводах трансформатора, А	$I_1 = \frac{S_{Т.Н}}{\sqrt{3} \cdot U_H}$	31,63	329,9
2	Схема соединения обмоток	K_{cx}	Δ 1,73	Y 1

1	2	3	4	5
3	Коэффициент трансформации	K_1	200/5	1000/5
4	Вторичный ток, соответствующий номинальной мощности защиты, А	$I_{H.B} = \frac{I_H \cdot K_{cx}}{K_1}$	0,9	2,89
5	Сторона, к ТТ которой следует добавить тормозную обмотку		На сумму токов трансформатора тока, установленных на НН	
6	Минимальн. ток срабатывания защиты по условию отстр-ки от броска тока намагничивания, А	$I_{c3 \min} = 1,5 \cdot I_H$	-	836,1
7	Ток срабатывания реле для основной стороны, приведенной к ВН, А	$I_{cp \text{ осн}} = \frac{I_{c3} \cdot K_{cx}}{K_{I \text{ ВН}}}$	-	4,2
8	Число витков обмотки НТТ реле для основной стороны (расчетное и принятое)	$W_{\text{осн расч}} = \frac{F_{cp}}{I_{cp \text{ осн}}}$ $W_{\text{осн}} = W_{II \text{ УР}}$	-	23,8 24
9	Уточнение тока срабатывания защиты, А	$I_{c3 \min} = \frac{F_{cp} \times K_I}{W_{\text{осн}} \times K_{cx}}$	-	833,3

1	2	3	4	5
10	Число витков обмотки НТТ реле для неосновной стороны (расчетное и принятое)	$W_{\text{неосн рас I}} = \frac{I_{\text{НОМ В ОСН}}}{I_{\text{НОМ В I}}} \cdot W_{\text{ОСН}}$ $W_1 = W_{1 \text{ УР}}$ $W_2 = W_{2 \text{ УР}}$	-	3,2 4 4
11	Результирующий ток в тормозной обмотке, приведенной к расчетной стороне, А	$I_{\text{торм}} = \left I_{\text{торм нн}} - I_{\text{торм сн}} \cdot \frac{I_{\text{сн в}}}{I_{\text{нн в}}} \right $	-	220
12	Первичный расчетный ток небаланса с учетом величины $I_{\text{нб рас}}, \text{ А}$	$I_{\text{нб рас}} = \left \kappa_{\text{ап}} \cdot \kappa_{\text{одн}} \cdot \varepsilon \times \right.$ $\left. \times I_{\text{к max}} \right + \left (\Delta U_{\alpha} \cdot \kappa_{\text{ток } \alpha} + \right.$ $\left. + \Delta U_{\beta} \times \kappa_{\text{ток } \beta}) \cdot I_{\text{кmax}} \right $ $+ \left \frac{W_{1\text{р}} - W_{1}}{W_{1\text{р}}} \cdot \kappa_{\text{ток I}} \pm \right.$ $\left. \frac{W_{1\text{I рас}} - W_{1\text{I}}}{W_{1\text{I рас}}} \cdot \kappa_{\text{ток II}} \right \times I_{\text{к max}}$	-	112,2
13	Число витков тормозной обмотки НТТ реле для неосновной стороны (расчетное и принятое)	$W_{\text{торм рас}} = \kappa_{\text{отс}}$ $\times \frac{I_{\text{нб рас}} \cdot W_{\text{раб рас}}}{I_{\text{торм}} \cdot \text{tg} \alpha}$ $W_{\text{торм}} \geq W_{\text{торм рас}}$ <p>выбирается из ряда чисел</p> <p>1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 18, 24</p>	$W_{\text{торм рас}} = 6,12$ $\kappa_{\text{отс}} = 1,5$ $\text{tg} \alpha = 0,87$ <p>5</p>	3,5 5
14	Чувствительность защиты при отсутствии торможения	$\kappa_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к min}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}}$	-	4,85

1	2	3	4	5
15	Чувствительность защиты при торможении			
15.1	Вторичный ток, подводимый к рабочей обмотке НТТ реле на стороне ВН, А	$i_{p1} = \frac{I_{kmin}^{(2)} \cdot K_{cx}}{K_{I_{ВН}}}$	-	20,23
15.2	Вторичный ток, подводимый к рабочей обмотке НТТ реле на стороне СН и тормозной обмотке, А	$i_{p1} = i_{торм\ p} = \frac{I_{kmin}^{(2)} \cdot U_{ВН} \cdot (1 + \Delta U_{рпн}/100) \cdot K_{cx}}{U_{СН} \cdot K_{I_{СН}}}$	-	42,8
15.3	Рабочая МДС НТТ реле, А	$F_{раб} = \sum_{i=1}^n i_{p_i} \cdot W_i$	-	656,7
15.4	Тормозная МДС НТТ реле, А	$F_{торм} = i_{торм\ p} \cdot W_t$	-	214
15.5	Рабочая МДС по графику, А	$F_{раб\ ср}$	-	170
15.6	K_{η}	$K_{\eta} = F_{раб} / F_{раб-р}$	-	3,1 > 2

10.3 Расчет МТЗ от перегрузки, уставки реле обдувки и реле токовой блокировки регулятора трансформаторов

Полученные результаты сводим в таблицу 25.

Таблица 25 Расчет МТЗ трансформатора

№	Величина	Расчётная формула	Трансформатор 6,3 МВА					
			МТЗ на стороне		Защита от перегрева на Стороне 6,3 кВ	Реле обдувки и на стороне 6,3 кВ	Реле блокировки на стороне 6,3 кВ	
			115, кВ	6,3, кВ				
1	2	3	4	5	9	10	11	
1	Первичные номинальные токи	$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \times U_H}$	31,63	329,9	329,9	329,9	329,9	329,9
2	Кратность сверх тока нагрузки	m_{CH}	1,4	2,5	-	-	-	-
3	Коэффициент трансформации и схема соединения	n_T	60 Δ 1,73	200 Y 1	200 Y 1	200 Y 1	200 Y 1	200 Y 1
4	Первичный расчётный ток ср. защиты, А	Мг	$I_{сз} = \frac{k \cdot m_{сз}}{k_{сз}} \times I_H$	66,4	2165,3	-	-	-
		От пер.	$I_{сз} = \frac{K_H}{K_B} \times I_H$	-	-	757,84	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5		Рел.об в. на 6,3 кВ	$0,7 \cdot I_H$	-	-	-	404,2	-
		Рел. л.	$2 \cdot I_H$	-	-	-	-	1154,8
6	Ток уставки реле		$i_{cp} = \frac{\kappa_{ex} \cdot I_{c3}}{n_T}$	1.9	10,83	3,8	2,04	5,8
7	Коэффициент чувствительности защиты		$K_{ч} = \frac{I_{kmin}^{(2)}}{I_{c3}}$	$9.6 > 1,5$	1,5 >0,28	-	-	-
8	Тип реле и пределы уставки		РТ-40/6 1,5...6, А	РТ- 40/20 5...20, А	РТ-40/6 1,5...6, А	РТ- 40/6 1,5... 6, А	РТ- 40/10 5...10, А	
9	Расчёт уставки реле вольтметровой блокировки МТЗ							
10	Коэффициент трансформации TV		n_v	-	6300/ 100	-	-	-
11	Номинальное остаточное напряжение при самозапуске, В		V_{min}	-	4410	-	-	-
12	Напряжение уставки реле, В		$V_{cp} = V_m$ $i_{in} / (k_B \times k_H \times n_v)$ $k_B = 1.2$ $k_H = 1.25$	29.4 РН- 54/48 24...48А				

10.4 Расчет МТЗ на секционных выключателях

Полученные результаты сводим в таблицу 26.

Таблица 26 - Расчет максимальной токовой защиты трансформатора

№	Величина	Расчетная формула	$S_{Т.Н} = 6,3 МВА$
			6,3 кВ
1	2	3	4
1	Коэффициент трансформации и схема соединения	n_T	1000/5 Y $K_{cx} = 1$
2	Первичный расчетный ток срабатывания защиты, А	$I_{CЗ}$ - защита ввода от трансформатора	2165,3
3	Первичный расчетный ток срабатывания защиты секционного выключателя по условию согласования с защитой трансформатора, А	$I_{CЗ} = K_C \cdot I_{CЗ}$ $K_C = 0,85$	1841
4	Ток уставки реле	$I_{c.p.} = K_{cx} \cdot I_{CЗ} / n_T$	9,2
5	Чувствительность защиты	$K_q = \frac{I_{Kmin}^{(2)}}{I_{CЗ}}$	0,33
6	Тип реле и пределы уставки		РТ-40/20 5...20, А
7	Расчет уставки реле вольтметровой блокировки МТЗ		
	Коэффициент трансформации TV	n_v	6300/100
	Номинальное остаточное напр. при самозапуске, В	V_{min}	4410
	Напряжение уставки реле, В	$V_{cp} = V_{min} / (k_g \times k_n \times n_v)$ $k_g = 1.2 k_n = 1.25$	29.4 РН-54/48 24...48А

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы спроектирована система электрооборудования и электрохозяйства термического производства металлургического завода. Термического производство получает питание от энергосистемы по двухцепной воздушной линии электропередач длиной 10 км напряжением 110 кВ. В качестве пункта приёма электроэнергии используется двухтрансформаторная ГПП с трансформаторами мощностью 6300 кВА. Вся электроэнергия по термическому производству распределяется на напряжении 6 кВ по кабельным линиям.

Кроме того в выпускной работе для термического производства металлургического завода были выбраны и рассчитаны:

1. Количество трансформаторных подстанций.
2. Мощность и марки трансформаторов на ГПП и на ТП.
3. Электрические нагрузки по производству.
4. Количество компенсирующих устройств.
5. Силовые кабели на 6 кВ.
6. Электрические аппараты на высокой и низкой стороне.
7. Релейная защита для силовых трансформаторов на ГПП.
8. Релейная защита для секционных выключателей.

Разработанная система электрооборудования и электрохозяйства термического производства металлургического завода удовлетворяет всем современным техническим требованиям и выполнена с учетом особенностей технологического процесса предприятия и требованиям по безопасности и надежности электроснабжения.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.
3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003
4. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. - М.: Энергия, 2012. - 108 с.
5. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98/ под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.
6. Федеральный закон "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 № 35-ФЗ с изм. и допол. в ред. от 29.12.2014
7. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению [Текст] / В.П. Шеховцов. - М.: Инфра-М, 2014. - 136 с.
8. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Текст]: учебник. / Е.А. Конюхова. - М.: МЭИ, 2014. - 512 с.
9. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций [Текст]: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. / Б.Н. Неклепаев. - СПб.: БХВ-Петербург, 2013. - 608 с.
10. Шабад, В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах [Текст]: учебное пособие. / В.К. Шабад. - М.: Academia, 2013. - 192 с.
11. Киреева, Э.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Текст]: учебник. / Э.А. Киреева, С.А. Цырук. - М.: Academia, 2014. - 288 с.
12. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и

подстанций [Текст] / Л.Д. Рожкова, Т.В. Карнеева, Т.В. Чиркова. - М.: Academia, 2013. - 448 с.

13. Вахнина, В. В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий [Текст]: учеб. пособие для вузов. / В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2011. – 68 с.

14. Вахнина, В.В. Проектирование осветительных установок [Текст]: учеб. пособие. / В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2008.

15. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Текст]: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко.– Тольятти: ТГУ, 2007.

16. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: Методическое пособие для курсового проектирования [Текст]: Учебное пособие. / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, 2013. - 216 с.

17. Гук, Ю.Б. Проектирование электрической части станций и подстанций [Текст]. / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрова. - М.: ЁЁ-Медиа, 2012. - 310 с.

18. Сибикин, Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов [Текст]: учебное пособие. / Ю.Д. Сибткин. - М.: Форум, 2015. - 384 с.

19. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Текст]: Учебное пособие / Г.В. Коробов, В.В. Картанцев, Н.А. Черемисинова. - 2-е изд. испр. и доп. - М.: Лань, 2011. - 192 с.

20. Степкина, Ю. В. Высоковольтное оборудование станций и подстанций [Текст]: учеб. пособие. / Ю.В. Степкина, В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2006. - 49 с.

21. Вахнина, В. В. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров [Текст]: учеб.-метод. Пособие / В.В. Вахнина, Ю.В. Степкина, О.В. Самолина. - Тольятти : ТГУ, 2012. - 31 с.

22. Степкина, Ю. В. Электрооборудование станций и подстанций предприятий [Текст]: учеб. пособие / Ю.В. Степкина, В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2009. - 67 с.
23. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Текст]: учебник. / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2014. - 416 с.
24. Ерошенко, Г.Н., Эксплуатация электрооборудования [Текст]: учебник. / Г.Н. Ерошенко, Н.П. Кондратьева. - М.: Инфра-М, 2014. - 336 с.
25. Дайнеко, В.А. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики [Текст]: учебное пособие. Гриф МО РФ. / В.А. Дайнеко, Е.П. Забелло, Е.М. Прищепова. - М.: Инфра-М, 2015. - 333 с.
26. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования [Текст]: учебное пособие. / Н.В. Грунтович - М.: Инфра-М, 2015. - 271 с.
27. Варварин, В.К. Выбор и наладка электрооборудования [Текст]: справочное пособие. / В.К. Варварин. - М.: Форум, 2015. - 240 с.
28. McDonald, J. D. Electric Power Substations Engineering / J. D. McDonald. – Miami: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. – 593с
29. Hewitson, Leslie G. Practical System Protection (Practical Professional Books) / L. G. Hewitson. – Newnes, 2005. – 290 с.
30. Gers, J. M. Protection of Electricity Distribution Networks, 3rd Edition (Energy Engineering) / J. M. Gers, E. D. Holmes. - The Institution of Engineering and Technology, 2011. – 368 с.
31. Lakervi, E. Electricity Distribution Network Design, 2nd Edition (Energy Engineering) / E. Lakervi, E. J. Holmes. - The Institution of Engineering and Technology, 2005. – 338 с.
32. Bayliss, C. Transmission and Distribution Electrical Engineering / C. Bayliss, B. Hardly. – Newnes, 2012. – 1180 с.