

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)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение термического производства завода металлургии
и машиностроения»

Студент

Н.А. Савинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.П. Тараканов

(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

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Аннотация

Бакалаврская работа выполнена на тему «Электроснабжение термического производства завода металлургии и машиностроения».

В ВКР выполнены расчеты нагрузок силовых электроприемников и системы внутреннего и наружного освещения укрупнено для каждого из цехов предприятия, выполнен выбор цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности и количества устанавливаемых КТП, выполнено технико-экономическое сравнение и выбор мощности силовых трансформаторов ГПП, рассчитано по формуле Стилла оптимальное напряжение питания промышленного предприятия, рассчитаны токи КЗ; выбрано и проверено на стойкость к токам КЗ основное оборудование главной понизительной подстанции, произведен расчет заземления главной понизительной подстанции.

ВКР бакалавра выполнена на 56 листах и содержит 9 таблиц и 4 рисунка. Пояснительная записка дополняется шестью чертежами формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Характеристика объекта проектирования	6
2 Расчет электрических нагрузок	9
3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	14
4 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП	21
5 Выбор схемы подстанции	31
6 Расчёт токов короткого замыкания	32
7 Расчет и выбор электрического оборудования и проводников	37
8 Расчет заземления подстанции	50
Заключение	54
Список использованных источников	55

Введение

Систему электроснабжения промышленного предприятия условно принято делить на три подсистемы [1-5]:

1. Систему внешнего электроснабжения – это сети напряжением 35–220 кВ, соединяющие ТП энергосистемы с приемными подстанциями предприятия (например, ГПП);

2. Систему внутризаводского электроснабжения – это подстанция предприятия на которую поступает электроэнергия из системы, собственная электростанция и совокупность электрических распределительных сетей 6-10 кВ, расположенных на территории предприятия и осуществляющих прием, распределение и передачу ЭЭ к распределительным пунктам и трансформаторным подстанциям;

3. Система внутрицехового электроснабжения – это совокупность внутрицеховых ТП, распределительных сетей, распределительных пунктов или шинопроводов и сетей непосредственного питания ЭП напряжением до 1000 В.

Эти перечисленные особенности энергетики приводят к необходимости выполнения специальных требований к системе электроснабжения предприятия:

1. Скорость протекания переходных процессов приводит к необходимости использования в системе электроснабжения предприятия специальных автоматических устройств, целью применения которых является передача необходимого количества и приемлемого качества электроэнергии от источника питания к потребителям;

2. Особенности технологического процесса на различных промышленных предприятиях приводят к разным применяемым проектным решениям в системе электроснабжения предприятия;

3. Современный технологический процесс на промышленном предприятии обладает высокой динамичностью, обусловленной постоянным усовершенствованием старых и применением новых методов производства,

внедрением нового оборудования, переналадкой технологического процесса, связанной с постоянным изменением и улучшением производимой продукции.

Выполнение этих требования должно быть обеспечено как на стадии проектирования так и на стадии эксплуатации системы электроснабжения предприятия.

Целью ВКР является разработка надежной и экономичной системы электроснабжения термического производства завода металлургии и машиностроения, позволяющей обеспечить соблюдение требований к качеству электрической энергии, установленных в ГОСТ 32144-2013 [6].

1 Характеристика объекта проектирования

Завод металлургии и машиностроения ОАО «ЗМиШ» является многопрофильным машиностроительным предприятием, специализирующимся на выпуске металлургической продукции и продукции тяжелого машиностроения.

Компания создана в 2012 году и на сегодняшний день ОАО «ЗМиШ» это предприятие полного машиностроительного цикла, охватывающее все этапы изготовления оборудования – от выплавки жидкого металла до сборки готовых технологических линий. Структура производства завода состоит из полноценных металлургического и машиностроительного производств. Имея уникальные мощности и технологии по выплавке высококачественных марок сталей, изготовлению крупногабаритных центробежнолитых заготовок, производству и термической обработке поковок с обеспечением механических свойств по мировым стандартам, предприятие в настоящее время выпускает продукцию для целлюлозно-бумажной, металлургической, нефтехимической, нефтегазовой отраслей промышленности, а также для энергетики и общего машиностроения.

Основной номенклатурный ряд предприятия составляют: поковки, центробежнолитые трубы, фасонное литье и изделия тяжелого машиностроения в виде узлов, агрегатов, металлоконструкций и готового нестандартного оборудования по чертежам заказчика для самых различных отраслей промышленности.

Система менеджмента качества завода сертифицирована в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО 9001-2008.

Производство предприятия имеет также сертификат морского регистра и лицензию на производство продукции для атомной промышленности.

1.1 Характеристика потребителей электроэнергии на предприятии

Сведения об установленной мощности электроприемников по цехам предприятия приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Сведения об установленной мощности электроприемников по цехам предприятия

№ п/п	Название цеха	Рном, кВт	пэ, шт
1	Ремонтно-механический цех	413	22
2	Участок №1	1694	18
3	Управление	615	26
4	Отделение отделки	459	4
5	Печное отделение	1822	20
6	Лаборатория	12	2
7	Травильное отделение	122	10
8	Котельная	381	6
9	Гидравлическая станция	50	2
10	Эмульсионное отделение	30	12
11	Участок №2	1823	20
12	Цех отделки прутков	3787	22
13	Машинный зал	208	12

Перечень высоковольтных электроприемников предприятия приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Перечень высоковольтных электроприемников

№ п/п	Наименование цеха, отделения, участка	Вид высоковольтных электроприемников	Установленная мощность одного электроприемника, кВт	Кол-во электроприемников	Напряжение электроприемников, кВ
9	Гидравлическая станция	Синхронные ЭД	630	4	10
13	Машинный зал	Синхронные ЭД	800	4	10

Генеральный план термического производства завода металлургии и машиностроения представлен на рисунке 1.1.

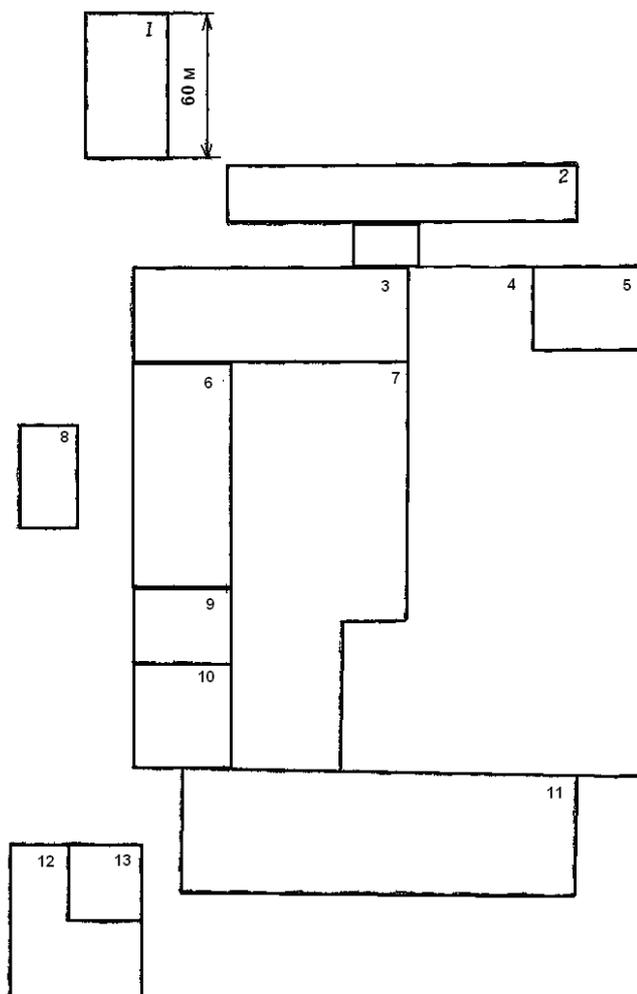


Рисунок 1.1 - Генплан термического производства завода металлургии и машиностроения

2 Расчет электрических нагрузок

Верное определение величин электрических нагрузок является одним из основополагающих факторов на стадии проектирования и при дальнейшей эксплуатации электрических сетей предприятия [3, 7-12].

Нахождение расчетной нагрузки по средней потребляемой мощности за наиболее загруженную смену и коэффициенту максимума (расчетному коэффициенту) является наиболее точным, используется для нахождения расчетной электрической нагрузки на всех уровнях системы электроснабжения промышленного предприятия, но только при наличии исходной информации о каждом электроприемнике.

Исходя из предполагаемого электрооборудования цехов предприятия, находим по справочным данным значения коэффициентов использования и коэффициентов мощности характерных электроприемников цеха.

Для каждого цеха предприятия определяются средние за наиболее загруженную смену активные и реактивные электрические нагрузки:

$$P_c = K_u \cdot P_n, \quad (2.1)$$

$$Q_c = K_u \cdot P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.2)$$

Используя найденные по формулам значения эффективного числа электроприемников и групповой коэффициент использования, по справочным таблицам определяем значение коэффициента максимума и находим расчетные активную и реактивную нагрузки:

$$P_p = K_m \cdot P_c, \quad (2.3)$$

$$Q_p = 1.1Q_c \text{ при } n_g \leq 10, \quad (2.4)$$

$$Q_p = Q_c \text{ при } n_g > 10. \quad (2.5)$$

Расчетную нагрузку от системы освещения определяем по следующей формуле:

$$P_{осв} = K_c \cdot P_{yo} \cdot F_n, \quad (2.6)$$

Суммируем расчетные активные нагрузки от силовых ЭП и от системы освещения, суммируем расчетные реактивные нагрузки и определяем полную расчетную нагрузку в целом по цеху на стороне 0,4 кВ.

Рассчитываем строку «Итого по нагрузке 0,4 кВ».

Расчетную нагрузку высоковольтных электроприемников определяем также, как и для низковольтных.

Рассчитываем строку «Итого по высоковольтной нагрузке».

Рассчитываем строку «Итого по предприятию».

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчета нагрузок по предприятию

№	Название цеха	P_n , кВт	$P_{н.э.}$, кВт	$n_э$	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_M	P_P , кВт	$P_{P.O.}$, кВт	$P_P + P_{P.O.}$, кВт	Q_P , квар	S_P , кВт·А
Нагрузка 0,4 кВ															
1	Ремонтно-механический цех	413	18.77	22	0.35	0.55	1.52	144.55	219.50	1.25	180.69	16.32	197.01	219.50	294.94
2	Участок №1	1694	94.11	18	0.45	0.75	0.88	762.3	672.29	1.24	945.25	27.65	972.90	672.29	1182.58
3	Управление	615	23.65	26	0.4	0.7	1.02	246	250.97	1.21	297.66	29.37	327.03	250.97	412.23
4	Отделение отделки	459	114.75	4	0.3	0.75	0.88	137.7	121.44	2.14	294.68	167.84	462.52	133.58	481.42
5	Печное отделение	1822	91.10	20	0.5	0.8	0.75	911	683.25	1.2	1093.20	13.06	1106.26	683.25	1300.24
6	Лаборатория	12	6.00	2	0.2	0.7	1.02	2.4	2.45	2.64	6.34	20.76	27.09	2.69	27.22
7	Травильное отделение	122	12.20	10	0.6	0.8	0.75	73.2	54.90	1.26	92.23	87.74	179.98	60.39	189.84

Продолжение таблицы 2.1

№	Название цеха	P_n , кВт	$P_{н.э.}$, кВт	$n_э$	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_M	P_P , кВт	$P_{P.O.}$, кВт	$P_P + P_{P.O.}$, кВт	Q_P , квар	S_P , кВ·А
8	Котельная	381	63.50	6	0.8	0.75	0.88	304.8	268.81	1.1	335.28	2.78	338.06	295.69	449.13
9	Гидравлическая станция	50	25.00	2	0.7	0.85	0.62	35	21.69	1.29	45.15	3.53	48.68	23.86	54.22
10	Эмульсионное отделение	30	2.50	12	0.6	0.8	0.75	18	13.50	1.23	22.14	14.08	36.22	13.50	38.65
11	Участок №2	1823	91.15	20	0.45	0.75	0.88	820.35	723.48	1.22	1000.83	65.60	1066.43	723.48	1288.68
12	Цех отделки прутков	3787	172.14	22	0.35	0.65	1.17	1325.5	1549.62	1.26	1670.07	20.83	1690.90	1549.62	2293.57
13	Машинный зал	208	17.33	12	0.7	0.78	0.80	145.6	116.81	1.15	167.44	7.68	175.12	116.81	210.50
	Освещение территории	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	67.43	---	---	67.43
	Итого по нагрузке 0,4 кВ	11416	2,5...172,14	176	0.49	0.74	0.92	4926.4	4698.71	1	4926.35	544.67	5471.02	4745.63	7242.45

Продолжение таблицы 2.1

№	Название цеха	P_n , кВт	$P_{н.э.}$, кВт	$n_э$	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_M	P_P , кВт	$P_{P.O.}$, кВт	$P_P + P_{P.O.}$, кВт	Q_P , квар	S_P , кВт·А
Нагрузка 10 кВ															
9	Гидравлическая станция (СТД-630-23УХЛ4)	2520	630	4	0.8	0.9	-0.48	2016	-976.39	1.16	2338.56	---	2338.56	-976.39	2534.21
13	Машинный зал (СТД-800-23УХЛ4)	3200	800	4	0.8	0.9	-0.48	2560	-1239.86	1.18	3020.8	---	3020.8	-1239.86	3265.35
	Итого по нагрузке 10 кВ	5720	630...800	8	0.8	0.9	-0.48	4576	-2216.26	1.17	5359.36	---	5359.36	-2216.26	5799.53
	Итого по термическому производству	17136	2,5...800	184	0.53	0.76	0.73	9502.4	2482.45	1	9502.35	544.67	10047	2529.38	10360.52

3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

Число трансформаторов и питающих линий определяется в зависимости от категории надежности электроснабжения потребителей [3, 13-17]. При запасе на складе силовых трансформаторов или при наличии связей со стороны вторичного напряжения надежность электроснабжение потребителей II и III категории обеспечивают однотрансформаторные подстанции.

Если преобладают потребители I и II категорий, то используют двухтрансформаторные подстанции.

При определении номинальной мощности трансформаторов исходят:

- из расчетной нагрузки;
- из числа часов использования максимума нагрузки;
- из перспективы развития предприятия (роста нагрузки).

Плотность электрической нагрузки цеха определим по формуле:

$$\sigma = \frac{S_P}{F_{Ц}}, \quad (3.1)$$

Найдем общее количество силовых трансформаторов на цеховых подстанциях в целом по цеху:

$$N_0 = \frac{P_P}{K_3 \cdot S_{НОМ.Т}} \quad (3.2)$$

где P_P – величина расчетной активной нагрузки в целом по цеху от низковольтных электроприемников;

K_3 – допустимый коэффициент загрузки цеховых силовых трансформаторов в нормальном режиме работы;

$S_{НОМ.Т}$ – выбранная номинальная мощность силового трансформатора.

К установке принимаем ближайшее большее целое число силовых трансформаторов N .

Количество силовых трансформаторов, устанавливаемых на одной подстанции, определяется в зависимости от категории надежности подключенных к ней электроприемников.

Выбираем внутрицеховые КТП как наиболее экономичные.

3.1 Выбор силовых трансформаторов для цеха №1

Распределение мощности:

$$\begin{aligned} b &= S_P / F_{ц}, & (3.3) \\ b &= 294,9 / 2040 = 0,145. \end{aligned}$$

Так как b меньше, чем 0,2, выбираем силовые трансформаторы мощностью до 1000 кВА.

Выбираем трансформатор мощностью 250 кВА.

По справочным таблицам каталогов производителей находим $\Delta P_{ТР} = 1,8$ кВт ; $\Delta Q_{ТР} = 9,7$ квар;

$$P_P = P_{P\Sigma} + n_m \cdot \Delta P_{mp}, \quad (3.4)$$

$$P_P = 197 + 1 \cdot 1,8 = 198,8 \text{ кВт},$$

$$Q_P = Q_{P\Sigma} + n_m \cdot \Delta Q_{mp}, \quad (3.5)$$

$$Q_P = 219,5 + 1 \cdot 9,7 = 229,2 \text{ квар}.$$

1. Определим значения входных реактивных мощностей:

$$a) \quad Q'_{\text{эл}} = Q_P - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.6)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 229.2 - 0,7 \cdot 0 = 229.2 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha P_p, \quad (3.7)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 198.8 = 55.7 \text{ квар}.$$

Из найденных значений принимаем наименьшее: $Q_{\text{э1}} = 55.7$ квар.

$$\text{б) } Q_{\text{min}} = 0,7 \cdot 219.5 = 153.7 \text{ квар}.$$

$$Q_{\text{э2,б}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э1}}), \quad (3.8)$$

$$Q_{\text{э2,б}} = 153.7 - (229.2 - 55.7) = -19.9 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{э2,н}} = 153.7 + 0 = 153.7 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{к}} = 0.$$

Так как в часы минимальных нагрузок напряжение будет повышенным, то $Q_{\text{э2}} = Q_{\text{э2,н}} = 153.7$ квар.

2. Найдем суммарную мощность КУ:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\text{э1}}, \quad (3.10)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 229.2 - 55.7 = 207.9 \text{ квар}.$$

При этом мощность конденсаторных установок без ступеней регулирования:

$$Q_{\text{куmin}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{куmin}} = 153.7 - 153.7 = 0.$$

Таким образом, все установки должны быть регулируемы.

3. Определяем мощность трансформаторов

$$\delta = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{S_{\Sigma}}, \quad (3.12)$$

$$\delta = \frac{\sqrt{198.8^2 + 229.2^2}}{2040} \approx 0,15 \text{ кВА/м}^2 \Rightarrow S_{HT} = 250 \text{ кВА.}$$

4. Определяем число трансформаторов

$$N_T = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 S_{HT}}, \quad (3.13)$$

$$N_T = \frac{197}{0,9 \cdot 250} = 0.88$$

где $K_3 = 0,9$.

Принимаем ближайшее большее целое число трансформаторов $N_T = 1$.

5. Определяем РМ, которую можно передать через силовые трансформаторы из сети 10кВ в сеть 0,4кВ, и которая не должна компенсироваться

$$Q_{\text{эп}} = Q_{\text{э1}} - Q_{\text{г}}, \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{эп}} = 55.7 - (229.2 - 219.5) = 45.9 \text{ квар.}$$

6. Определим значение реактивной мощности, которое целесообразно передать через цеховые трансформаторы в сеть U до 1000 В:

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.15)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 250)^2 - 197^2} = 108.7 \text{ квар,}$$

$$Q_{KVH} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (3.16)$$

$$Q_{KVH} = 219.5 - 108.7 = 110.8 \text{ квар,}$$

$$Q_{.KVБ} = Q_{KV \max} - Q_{KVН}, \quad (3.17)$$

$$Q_{.KVБ} = 207.9 - 110.8 = 97.1 < 800 \text{ квар} .$$

Установка БК на стороне 10 кВ нецелесообразна.

Принимаем однострансформаторную КТП с трансформатором типа ТМГ-250/10 и конденсаторной установкой (КУ) типа АУКРМ 0,4 на 150 квар. Для остальных цехов расчеты выполняем аналогично, результаты сводим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты выбора трансформаторов КТП предприятия

№	Наименование цехов предприятия	σ , кВА/м ²	P_p , кВт	Категория надежности электроснаб.	Принято к установке		
					$S_{ном.т}$	$S_{ном.т}$	$S_{ном.т}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ремонтно-механический цех	0.145	197.01	3	250	1	1
2	Участок №1	0.342	972.90	2	630	2	1
3	Управление	0.090	327.03	3	400	1	1
4	Отделение отделки	0.023	462.52	2	250	2	1
5	Печное отделение	0.797	1106.26	1	630	2	1
6	Лаборатория	0,007	27,09	2	250	2	1
7	Травильное отделение	0,017	179,98	2			
8	Гидравлическая станция	0,042	48,68	2			
9	Эмульсионное отделение	0,022	36,22	2			

Продолжение таблицы 3.1

№	Наименование цехов предприятия	σ , кВА/м ²	P_p , кВт	Категория надежности электроснаб.	Принято к установке		
					$S_{ном.т}$	$S_{ном.т}$	$S_{ном.т}$
1	2	3	4	5	6	7	8
10	Котельная	0.446	338.06	1	250	2	1
11	Участок №2	0.157	1066.43	2	630	2	1
12	Цех отделки прутков	0,881	1690,90	3	1000	2	1
13	Машинный зал	0,219	175,12	2			

4 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП

Выбор напряжения питания ГПП промышленного предприятия зависит от напряжения возможного источника питания, расстояния от подстанции предприятия до этого источника питания, возможности размещения высоковольтных воздушных и кабельных линий электропередачи, условий окружающей среды и ряда других факторов [4, 8, 18, 19].

Величина рационального напряжения может быть определена по формуле Стилла:

$$U_{РАЦi} = 4.34 \cdot \sqrt{L_i + 0.016 \cdot P_{PI}}, \quad (4.1)$$
$$U_{РАЦi} = 4.34 \cdot \sqrt{10 + 0.016 \cdot 78867} = 155.4 \text{ кВ}$$

где L_i – длина линии от главной понизительной подстанции предприятия до источника питания;

P_{PI} – значение активной расчетной нагрузки промышленного предприятия на стороне низкого напряжения главной понизительной подстанции предприятия.

Найдем активную расчетную нагрузку промышленного предприятия:

$$P_{PI} = P_{PH} + P_{PB} + P_{OCB} + \Delta P_{T\Sigma} + P_{STOP}, \quad (4.2)$$
$$P_{PI} = 5471 + 5359 + 56.5 + 67980 = 78867 \text{ кВт}$$

где P_{PH} – суммарное расчетное значение активной нагрузки 0,4 кВ всех цехов предприятия и сторонних потребителей получающих питание от данной ГПП;

P_{PB} – суммарное расчетное значение активной нагрузки высоковольтных электроприемников предприятия;

P_{OCB} - суммарное расчетное значение активной нагрузки системы внутрицехового электрического освещения и установок наружного освещения предприятия;

$\Delta P_{T\Sigma}$ - суммарное значение потерь активной мощности в цеховых силовых трансформаторах.

Определим значение полной расчетной мощности промышленного предприятия:

$$S_{P\text{II}} = \sqrt{P_{P\text{II}}^2 + Q_{\text{ЭCи}}^2}, \quad (4.3)$$

$$S_{P\text{II}} = \sqrt{78867^2 + 18139.4^2} = 80926 \text{ кВА}$$

где $Q_{\text{ЭCи}}$ - значение экономически целесообразной реактивной мощности, потребляемой предприятием из энергосистемы, на стороне ВН ГПП.

$$Q_{\text{ЭCи}} = P_{P\text{II}} \cdot \text{tg}\phi_i, \quad (4.4)$$

$$Q_{\text{ЭCи}} = 78867 \cdot 0.23 = 18139.4 \text{ квар}$$

Поскольку на предприятии присутствуют потребители, относящиеся к первой категории по надежности электроснабжения, то принимаем к установке на ГПП два силовых трансформатора. Номинальную мощность силовых трансформаторов определяем, учитывая возможную 40% перегрузку в послеаварийном режиме и коэффициента участия в нагрузке потребителей, относящихся к первой категории по надежности электроснабжения:

$$S_{\text{номт}} \approx K_{1-2} \cdot S_{\text{max ПС}} \frac{1}{K_{\text{пер}}}, \quad (4.5)$$

$$S_{\text{номт}} \approx 0,8 \cdot 80926 \cdot \frac{1}{1,4} = 46243 \text{ кВА}$$

Согласно полученному значению полной мощности предприятия принимаем для последующего рассмотрения силовые трансформаторы с $S_{номт}$ равной 63 и 80 МВА.

Выбираем по каталогу производителя силовые трансформаторы марок: ТРДЦНК-63000/110/10/10 и ТРДЦНК-80000/110/10/10.

4.1 Технико-экономическое обоснование оптимальной номинальной мощности силового трансформатора ГПП

4.1.1 Вариант главной понизительной подстанции с силовыми трансформаторами ТРДЦНК-63000/110/10/10.

Технические характеристики силового трансформатора ТРДЦНК-63000/110/10/10 приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Технические характеристики силового трансформатора ТРДЦНК-63000/110/10/10

Марка СТ	$S_{ном}$, МВА	Данные из каталога производителя						Стоимость 1го тр-ра, тыс.руб
		$U_{ном}$, кВ		U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %	
		ВН	НН					
ТРДЦНК-63000/110/10/10	63	115	10.5	10.5	245	50	0.5	63189

Определим приведенные потери активной и реактивной мощности в стали силового трансформатора на холостом ходу:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{un} \cdot \Delta Q_x, \quad (4.6)$$

$$\Delta P_x' = 50 + 0,05 \cdot 315 = 65,75 \text{ кВт},$$

где

$$\Delta Q_x = I_{xx\%} + S_{ном.т} / 100, \quad (4.7)$$

$$\Delta Q_x = 0,5 \cdot 63000 / 100 = 315 \text{ квар},$$

$$K_{ин} = 0,05 \text{ кВт/квар}.$$

Находим приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора:

- для обмотки высшего напряжения:

$$\Delta Q_{к.в} = U_{к.в\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (4.8)$$

$$\Delta Q_{к} = 10,5 \cdot 63000 / 100 = 6615 \text{ квар},$$

$$U_{к.в\%} = 0,125 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (4.9)$$

$$U_{к.в\%} = 0,125 \cdot 10,5 = 1,3 \%,$$

$$\Delta P'_{к.в} = \Delta P_{к.в} + K_{ин} \cdot \Delta Q_{к.в}, \quad (4.10)$$

$$\Delta P'_{к.в} = 0 + 0,05 \cdot 6615 = 330,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.в} = 0.$$

- для обмоток низшего напряжения:

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = U_{к.н1,2\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (4.11)$$

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = 18,375 \cdot 63000 / 100 = 11576,3 \text{ квар},$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (4.12)$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot 10,5 = 18,375 \%,$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = \Delta P_{к.н1,2} + K_{ин} \cdot \Delta Q_{к.н1,2}, \quad (4.13)$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = 490 + 0,05 \cdot 11576,3 = 1068,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot \Delta P_{к.ВН-НН}, \quad (4.14)$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot 245 = 490 \text{ кВт}.$$

Коэффициенты загрузки обмоток трансформатора:

$$K_{3.6} = \frac{S_B}{S_{ном,Т}}, \quad (4.15)$$

$$K_{3.6} = \frac{80926}{63000} = 1.28.$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{S_{H1,2}}{S_{ном,Т}}, \quad (4.16)$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{40463}{63000} = 0.64.$$

Приведенные потери активной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_m^{\dot{}} = \Delta P_x^{\dot{}} + K_{3.6}^2 \cdot \Delta P_{к.6}^{\dot{}} + K_{3.н1}^2 \cdot \Delta P_{к.н1}^{\dot{}} + K_{3.н2}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}^{\dot{}}, \quad (4.17)$$

$$P_m^{\dot{}} = 66.75 + 1.28^2 \cdot 330.8 + 0.64^2 \cdot 1068.8 + 0.64^2 \cdot 1068.8 = 1493.3 \text{ кВт}.$$

На основании суммарного годового графика нагрузки ГПП (рисунок 4.1) определяются потери электроэнергии в трансформаторах ПС ΔW и их стоимость $I_{\Delta W}$:

$$\begin{aligned} \Delta W_{nc} = & \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{ki} = \sum n_i \cdot \Delta P_x' \cdot T_i + \\ & + \sum \left(\frac{1}{n_i} \cdot K_{3.6i}^2 \cdot \Delta P_{к.6}' \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н1i}^2 \cdot \Delta P_{к.н1}' \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н2i}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}' \cdot T_i \right) \end{aligned} \quad (4.18)$$

Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТРДЦНК-63000/110/10/10 заносим в таблицу 4.2.

На основании суммарных значений потерь холостого хода и короткого замыкания находим стоимость потерь электроэнергии в силовом трансформаторе ГПП за год:

$$I_{\Delta WПТС} = \Delta W_{nc} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.19)$$

$$I_{\Delta WПC} = (4375172 + 1151940) \cdot 1,938 = 10712 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_э = 1,938 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$ - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

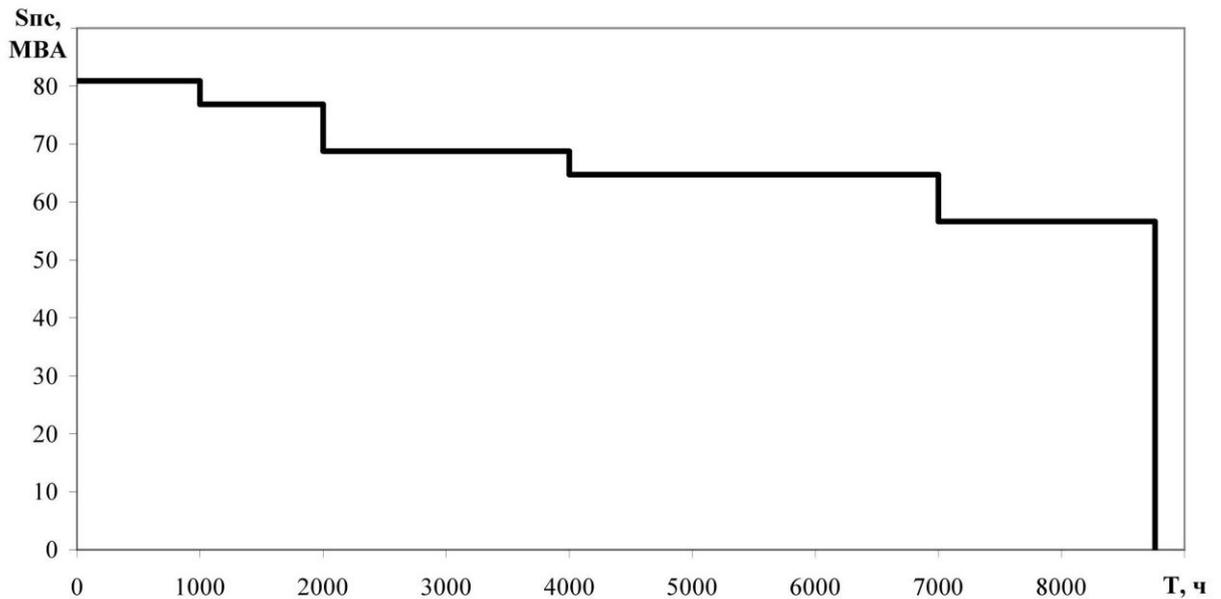


Рисунок 4.1 - Годовой график нагрузки ГПП

Найдем суммарные приведенные затраты:

$$Z_{прив} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_э + I_{\Delta WПC} \quad (4.20)$$

$$Z_{прив} = 0,25 \cdot 126378 + 11880 + 10712 = 54186 \text{ тыс.руб.}$$

где $E_n = 0,25$ - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$K = 2 \cdot 63189 = 126378 \text{ тыс.руб.}$ - стоимость силовых трансформаторов ГПП;

$I_э = P_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 126378 = 11880 \text{ тыс.руб.}$ - ежегодные отчисления.

4.1.2 Вариант главной понизительной подстанции с силовыми трансформаторами ТРДЦНК-80000/110/10/10.

Технические характеристики силового трансформатора ТРДЦНК-80000/110/10/10 приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Технические характеристики силового трансформатора ТРДЦНК-80000/110/10/10

Марка СТ	$S_{ном}$, МВА	Данные из каталога производителя						Стоимость 1го тр-ра, тыс.руб
		$U_{ном}$, кВ		U_k , %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %	
		ВН	НН					
ТРДЦНК-80000/110/10/10	80	115	10.5	10.5	310	58	0.45	80240

Определим приведенные потери активной и реактивной мощности в стали силового трансформатора на холостом ходу:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{ин} \cdot \Delta Q_x, \quad (4.21)$$

$$\Delta P_x' = 58 + 0,05 \cdot 360 = 76 \text{ кВт},$$

где

$$\Delta Q_x = I_{xx\%} + S_{ном.т} / 100, \quad (4.22)$$

$$\Delta Q_x = 0,45 \cdot 80000 / 100 = 360 \text{ квар},$$

$$K_{ин} = 0,05 \text{ кВт/квар}.$$

Находим приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора:

- для обмотки высшего напряжения:

$$\Delta Q_{к.в} = U_{к.в\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (4.23)$$

$$\Delta Q_{к} = 10,5 \cdot 80000 / 100 = 8400 \text{ квар},$$

$$U_{к.в\%} = 0,125 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (4.24)$$

$$U_{к.в\%} = 0,125 \cdot 10,5 = 1,3 \%,$$

$$\Delta P'_{к.в} = \Delta P_{к.в} + K_{ин} \cdot \Delta Q_{к.в}, \quad (4.25)$$

$$\Delta P'_{к.в} = 0 + 0,05 \cdot 8400 = 420 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.б} = 0.$$

- для обмоток низшего напряжения:

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = U_{к.н1,2\%} \cdot S_{ном т} / 100, \quad (4.26)$$

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = 18,375 \cdot 80000 / 100 = 14700 \text{ квар},$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (4.27)$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot 10,5 = 18,375 \%,$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = \Delta P_{к.н1,2} + K_{un} \cdot \Delta Q_{к.н1,2}, \quad (4.28)$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = 620 + 0,05 \cdot 14700 = 1355 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot \Delta P_{к.ВН-НН}, \quad (4.29)$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot 310 = 620 \text{ кВт}.$$

Коэффициенты загрузки обмоток трансформатора:

$$K_{з.б} = \frac{S_B}{S_{ном,Т}}, \quad (4.30)$$

$$K_{з.б} = \frac{80926}{80000} = 1.01.$$

$$K_{з.н1} = K_{з.н2} = \frac{S_{H1,2}}{S_{ном,Т}}, \quad (4.31)$$

$$K_{з.н1} = K_{з.н2} = \frac{40463}{80000} = 0.51.$$

Приведенные потери активной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_m^{\dot{}} = \Delta P_x^{\dot{}} + K_{з.б}^2 \cdot \Delta P_{к.б}^{\dot{}} + K_{з.н1}^2 \cdot \Delta P_{к.н1}^{\dot{}} + K_{з.н2}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}^{\dot{}}, \quad (4.32)$$

$$P_m^{\dot{}} = 76 + 1.01^2 \cdot 420 + 0.51^2 \cdot 1355 + 0.51^2 \cdot 1355 = 1199.1 \text{ кВт}.$$

Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТРДЦНК-80000/110/10/10 заносим в таблицу 4.4.

На основании суммарных значений потерь холостого хода и короткого замыкания находим стоимость потерь электроэнергии в силовом трансформаторе ГПП за год:

$$I_{\Delta W_{nc}} = \Delta W_{nc} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.33)$$

$$I_{\Delta W_{nc}} = (3441964 + 1331520) \cdot 1,938 = 9251 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_{\text{э}} = 1,938$ руб/кВт·ч - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Найдем суммарные приведенные затраты:

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_{\text{э}} + I_{\Delta W_{nc}} \quad (4.34)$$

$$Z_{\text{прив}} = 0,25 \cdot 160480 + 15085 + 9251 = 64456 \text{ тыс.руб.}$$

где $E_n = 0,25$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$K = 2 \cdot 80240 = 160480$ тыс.руб. – стоимость силовых трансформаторов ГПП;

$I_{\text{э}} = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 160480 = 15085$ тыс.руб. – ежегодные отчисления.

Так как затраты на трансформаторы ТРДЦНК-80000/110/10/10 значительно превышают затраты на трансформаторы ТРДЦНК-63000/110/10/10, то выбираем для дальнейшего рассмотрения и установки на проектируемой подстанции трансформаторы ТРДЦНК-63000/110/10/10.

Таблица 4.2 - Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТРДЦНК-63000/110/10/10

i	S_{Bi} , MBA	S_{H1i} , MBA	S_{H2i} , MBA	n_i	T_i , ч	ΔW_{xi} , кВт·ч	$K_{зBi}$	$K_{зH1i}$	$K_{зH2i}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	$\Delta W_{кH1i}$, кВт·ч	$\Delta W_{кH2i}$, кВт·ч
1	80.926	40.463	40.463	2	1000	131500	1.285	0.642	0.642	272876	220448	220448
2	76.876	38.438	38.438	2	1000	131500	1.220	0.610	0.610	246249	198938	198938
3	68.785	34.392	34.392	2	2000	263000	1.092	0.546	0.546	394276	318524	318524
4	64.742	32.371	32.371	2	3000	394500	1.028	0.514	0.514	523945	423280	423280
5	56.643	28.322	28.322	2	1760	231440	0.899	0.450	0.450	235286	190081	190081
$\Sigma \Delta W_{xi} = 1151940$										$\Sigma \Delta W_{кBi} = 4375172$		

Таблица 4.4 - Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТРДЦНК-80000/110/10/10

i	S_{Bi} , MBA	S_{H1i} , MBA	S_{H2i} , MBA	n_i	T_i , ч	ΔW_{xi} , кВт·ч	$K_{зBi}$	$K_{зH1i}$	$K_{зH2i}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	$\Delta W_{кH1i}$, кВт·ч	$\Delta W_{кH2i}$, кВт·ч
1	80.926	40.463	40.463	2	1000	152000	1.012	0.506	0.506	214890	173319	173319
2	76.876	38.438	38.438	2	1000	152000	0.961	0.480	0.480	193921	156407	156407
3	68.785	34.392	34.392	2	2000	304000	0.860	0.430	0.430	310493	250427	250427
4	64.742	32.371	32.371	2	3000	456000	0.809	0.405	0.405	412607	332787	332787
5	56.643	28.322	28.322	2	1760	267520	0.708	0.354	0.354	185288	149443	149443
$\Sigma \Delta W_{xi} = 1331520$										$\Sigma \Delta W_{кBi} = 3441964$		

5 Выбор схемы подстанции

От ГПП предприятия питаются потребители, относящиеся к первой, второй и третьей категории по надежности электроснабжения, поэтому на ГПП устанавливается два силовых трансформатора, получающих питание от двух взаимнорезервирующих линий электропередач 110 кВ [3, 20, 21].

Схемы главной понизительной подстанции могут быть выполнены с силовыми выключателями на стороне высшего напряжения или по упрощенным схемам, т. е. без выключателей на стороне высокого напряжения. На вторичном напряжении 10 кВ, как правило, применяется одиночная секционированная система шин. Трансформаторы к секциям подключаются через вводные выключатели, секционный выключатель при нормальном режиме работы отключен для уменьшения токов короткого замыкания.

Высоковольтные выключатели применяются на высокой стороне ГПП при: специальных требованиях к самозапуску электродвигателей 6-10 кВ, подключаемых к РУ ГПП; упрощению УРЗиА по сравнению с использованием отделителей; при перспективе установки на подстанции СШ 110-220 кВ; при возможности двухстороннего питания по линии; при невозможности использования короткозамыкателей и высокой стоимости линии связи для передачи отключающего импульса.

Для ГПП предприятия выбираем схему с высоковольтными выключателями на стороне высокого напряжения и с двойной секционированной секционным выключателем системой шин на стороне низкого напряжения.

6 Расчет токов короткого замыкания

В электрических установках промышленных предприятий возможно появление различных видов КЗ, которые сопровождаются скачкообразным ростом тока [3]. Из-за этого электрооборудование, применяемое в системах электроснабжения предприятий, должно быть проверено на стойкость к токам КЗ.

Существуют следующие основные виды коротких замыканий: трехфазное, когда все три фазы образуют соединение друг с другом; двухфазное – когда две из трех фаз образуют соединение друг с другом, но при этом не соединяются с землей; однофазное – когда одна из трех фаз образует соединение с нейтральной точкой источника питания через землю; двойное замыкание фаз на землю – когда две фазы из трех образуют соединение друг с другом и с землей.

Одними из основных причин появления таких КЗ в сети предприятия являются: повреждение изоляции частей электроустановок; ошибочные действия персонала; перекрытия незаизолированных токоведущих частей электроустановки.

Короткие замыкания в сети предприятия приводят к: прекращению электроснабжения потребителей электроэнергии, подключенных за местом возникновения КЗ; нарушению нормального функционирования остальных электроприемников, запитанных от неповрежденных участков сети из-за недопустимого снижения напряжения; нарушению нормального режима работы системы электроснабжения всего предприятия.

Для предотвращения появления КЗ и минимизации их последствий могут быть приняты следующие меры: устранение причин, приводящих к КЗ; сокращение времени действия защиты при возникновении КЗ; применение быстродействующих выключателей; правильное определение значений токов КЗ и выбор по ним электрических аппаратов, защит и средств, ограничивающих токи КЗ.

Составляем расчетную схему (рисунок 6.1) для определения токов КЗ и схему замещения (рисунок 6.2).

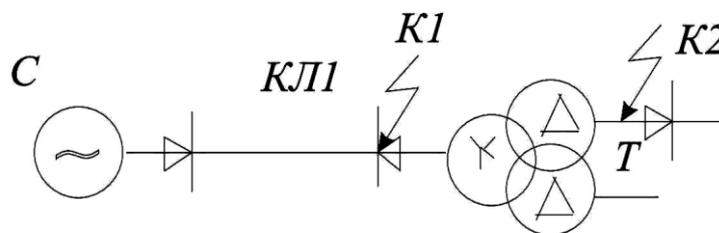


Рисунок 6.1 - Расчётная схема для определения токов КЗ

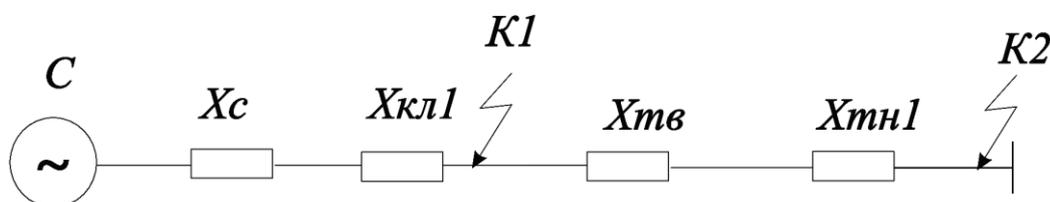


Рисунок 6.2 - Схема замещения для определения токов КЗ

Исходные данные для расчета токов КЗ:

Параметры системы: $U_{cp} = 115$ кВ; $S_{\sigma} = 1000$ МВА; $S_{\kappa} = 4800$ МВА.

Параметры линии: $x_{y\delta} = 0,2$ Ом/км; $L = 2$ км.

Параметры силового трансформатора: $S_n = 63$ МВА; $U_{\kappa} = 10,5$ %.

Найдем сопротивление системы:

$$x_{c.\delta} = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}}; \quad (6.1)$$

$$x_{c.\delta} = \frac{1000}{4800} = 0.208.$$

Найдем сопротивление воздушной линии:

$$x_{ВЛ.\delta} = \frac{x_{y\delta}}{2} \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{сн}^2}; \quad (6.2)$$

$$x_{ВЛ.б} = \frac{0.2}{2} \cdot 2 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0.015.$$

Найдем сопротивление силового трансформатора:

$$x_{Т.В.б} = \frac{U_{к.в}, \%}{100} \cdot \frac{S_{б}}{S_{н}}; \quad (6.3)$$

$$x_{Т.В.б} = \frac{1.3125}{100} \cdot \frac{1000}{63} = 0.208.$$

$$x_{Т.Н.б} = \frac{U_{к.н}, \%}{100} \cdot \frac{S_{б}}{S_{н}}; \quad (6.4)$$

$$x_{Т.Н.б} = \frac{18.375}{100} \cdot \frac{1000}{63} = 2.917.$$

Найдем результирующее сопротивление в точке К1:

$$x_{рез1} = x_{с.б} + x_{ВЛ.б}; \quad (6.5)$$

$$x_{рез1} = 0.208 + 0.015 = 0.223.$$

Найдем базисный ток в точке К1:

$$I_{б.к1} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}; \quad (6.6)$$

$$I_{б.к1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5.02 \text{ кА};$$

Найдем начальное действующее значение тока трехфазного тока КЗ в точке К1:

$$I_{\kappa 1}^3 = \frac{E_{\sigma}^{\wedge}}{x_{\text{рез1}}} \cdot I_{\sigma}; \quad (6.7)$$

$$I_{\kappa 1}^3 = \frac{1}{0.223} \cdot 5.02 = 22.467 \text{ кА};$$

Найдем ударный ток КЗ в точке К1:

$$i_{\text{уд.к1}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{н.о}}^3 \cdot K_{\text{уд}}; \quad (6.8)$$

$$i_{\text{уд.к1}} = \sqrt{2} \cdot 22.467 \cdot 1.8 = 57.192 \text{ кА}.$$

Найдем результирующее сопротивление в точке К2:

$$x_{\text{рез2}} = x_{\text{рез1}} + x_{\text{T.В.}\sigma} + x_{\text{T.Н.}\sigma}; \quad (6.9)$$

$$x_{\text{рез2}} = 0.223 + 0.208 + 2.917 = 3.348.$$

Найдем базисный ток в точке К2:

$$I_{\sigma.\text{к2}} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{сн}}}; \quad (6.10)$$

$$I_{\sigma.\text{к2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 54.986 \text{ кА};$$

Найдем начальное действующее значение тока трехфазного тока КЗ в точке К2:

$$I_{\kappa 2}^3 = \frac{E_{\sigma}^{\wedge}}{x_{\text{рез2}}} \cdot I_{\sigma.\text{к2}}; \quad (6.11)$$

$$I_{\kappa 2}^3 = \frac{1}{3.348} \cdot 54.986 = 16.421 \text{ кА};$$

Найдем ударный ток КЗ в точке К2:

$$i_{\text{уд.к2}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{н.о}}^3 \cdot \kappa_{\text{уд}}; \quad (6.12)$$

$$i_{\text{уд.к2}} = \sqrt{2} \cdot 16.421 \cdot 1.85 = 42.963 \text{ кА.}$$

Полученные результаты сведем в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты расчетов токов КЗ

	$U_{\text{сн}}, \text{кВ}$	$\kappa_{\text{уд}}$	$I_{\text{к}}^{\text{сн}}, \text{кА}$	$i_{\text{уд}}, \text{кА}$
К1	115	1.8	22.5	57.2
К2	10.5	1.85	16.4	43

7 Расчет и выбор электрического оборудования и проводников

7.1 Выбор электрического оборудования на стороне высокого напряжения 110 кВ

7.1.1 Выбор разъединителя

Разъединитель выбирается и проверяется по тем же параметрам, что и высоковольтный выключатель, за исключением отключающей способности.

Предварительно выбираем разъединитель типа РГП-СЭЩ-110/1250.

Разъединитель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.1)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.2)$$
$$443 \text{ А} < 1250 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (7.3)$$
$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{63000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 443 \text{ А};$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$i_{уд} \leq i_{нр.с}, \quad (7.4)$$

$$57.2 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{нр.с}^2 \cdot t_{нр.с}, \quad (7.5)$$

$$75.9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 99.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный разъединитель РГП-СЭЩ-110/1250 прошел проверку.

7.1.2 Выбор трансформатора тока

На стороне 110 кВ предварительно выбираем трансформатор тока типа ТВ-110-П-600/5.

Трансформатор тока выбираем и проверяем по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.6)$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\max} \leq I_{н.т.т}, \quad (7.7)$$

$$443 \text{ А} \leq 500 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{эдин.ст}, \quad (7.8)$$

$$57.2 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.9)$$

$$75.9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 250 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (7.10)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пр} + R_k, \quad (7.11)$$

Для нахождения $R_{приб}$ необходимо определить нагрузку по фазам трансформатора тока $S_{приб}$ и принять за расчетную наиболее загруженную фазу.

Вторичной нагрузкой трансформатора тока является амперметр с максимальной мощностью 0,1 ВА. Найдем сопротивление прибора:

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}, \quad (7.12)$$

$$R_{приб} = \frac{0.1}{5^2} = 0.004 \text{ Ом}.$$

Тогда допустимое сопротивление проводов:

$$R_{пр} = Z_{2ном} - R_{приб} - R_k,$$

$$R_{пр} = 1.2 - 0.004 - 0.1 = 1.096 \text{ Ом}.$$

Найдем минимальное сечение соединительных медных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{np}}, \quad (7.13)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 75}{1.096} = 1.198 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности сечение медных жил должно быть не менее 2.5 мм^2 , поэтому принимаем стандартное сечение жилы 2.5 мм^2 .

Выбранный трансформатор тока ТВ-110-II-600/5 прошел проверку.

7.2 Выбор электрического оборудования на стороне низкого напряжения 10 кВ

7.2.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне 10 кВ предварительно выбираем высоковольтный выключатель ВБЭК-10-31,5/3150.

Высоковольтный выключатель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.14)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.15)$$

$$2425 \text{ А} < 3150 \text{ А},$$

где

$$I_{\max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (7.16)$$

$$I_{\max} = 1.4 \cdot \frac{63000}{\sqrt{3} \cdot 10.5 \cdot 2} = 2425 \text{ A};$$

- по отключающей способности:

$$I_{\kappa 1}^{\text{откл.н}} \leq I_{\text{откл.н}}, \quad (7.17)$$

$$16.4 \text{ кА} \leq 31.5 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.н.}, \quad (7.18)$$

$$10.1 \text{ кА} \leq 15.6 \text{ кА},$$

где

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}^{\text{откл.н}} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (7.19)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 16.4 \cdot e^{\frac{-0.05}{0.06}} = 10.1 \text{ кА},$$

$$i_{a.н.} = \sqrt{2} \cdot \beta_n / 100 \cdot I_{\text{откл.н}}, \quad (7.20)$$

$$i_{a.н.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{35}{100} \right) \cdot 31.5 = 15.6 \text{ кА},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$I_{\kappa 1}^{\text{скв.н}} \leq I_{\text{пр.с}}, \quad (7.21)$$

$$16.4 \text{ кА} \leq 31.5 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial} \leq i_{\text{пр.с}}, \quad (7.22)$$

$$43 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.23)$$

$$43 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 99.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный высоковольтный выключатель ВБЭК-10-31,5/3150 прошел проверку.

7.2.2 Выбор трансформатора тока

На стороне 10 кВ предварительно выбираем трансформатор тока типа ТПШЛ-10-І-3000/5.

Трансформатор тока выбираем и проверяем по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.24)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\max} \leq I_{Н.ТТ}, \quad (7.25)$$

$$2425 \text{ А} \leq 3000 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{эдин.ст}, \quad (7.26)$$

$$43 \text{ кА} \leq 100 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_{\kappa} \leq K_T^2 \cdot I_{1\text{ном.}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = I_T^2 \cdot t_{\text{откл}}, \quad (7.27)$$

$$43 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 160 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}, \quad (7.28)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пр}} + R_{\kappa}, \quad (7.29)$$

Для нахождения $R_{\text{приб}}$ необходимо определить нагрузку по фазам трансформатора тока $S_{\text{приб}}$ и принять за расчетную наиболее загруженную фазу.

Вторичной нагрузкой трансформатора тока являются амперметр, счетчик активной и реактивной энергии с суммарной максимальной мощностью 11,1 ВА. Найдем сопротивление прибора:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (7.30)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{11.1}{5^2} = 0.444 \text{ Ом.}$$

Тогда допустимое сопротивление проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\kappa},$$

$$R_{\text{пр}} = 1.2 - 0.444 - 0.1 = 0.656 \text{ Ом.}$$

Найдем минимальное сечение соединительных медных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{np}}, \quad (7.31)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 45}{0.656} = 1.2 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности сечение медных жил должно быть не менее 2.5 мм^2 , поэтому принимаем стандартное сечение жилы 2.5 мм^2 .

Выбранный трансформатор тока ТПШЛ-10-I-3000/5 прошел проверку.

Аналогичным образом выбираем и проверяем трансформаторы тока на отходящих линиях.

7.2.3 Выбор трансформатора напряжения

Измерительный трансформатор напряжения выбираем по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.32)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по классу точности;

- по величине вторичной нагрузки:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (7.33)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{приб} \cos \phi)^2 + (\sum S_{приб} \sin \phi)^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}. \quad (7.34)$$

На стороне 10 кВ выбираем трансформатор напряжения НАМИ-10-95 с классом точности 0.5. В комплекте с ТН идет предохранитель ПКТ-101-10. К ТН подключается вольтметр и счетчики активной и реактивной электроэнергии с суммарной потребляемой мощностью 58 Вт и 116 вар.

Тогда:

$$130 \text{ ВА} \leq 200 \text{ ВА} .$$

Выбранный трансформатор напряжения НАМИ-10-95 прошел проверку.

7.2.4 Выбор жестких шин

Выбираем жесткие шины по экономической плотности тока:

$$s = \frac{I_{\text{раб.ном}}}{j_s} ; \quad (7.35)$$
$$s = \frac{1732}{1} = 1732 \text{ мм}^2 .$$

Выбираем две алюминиевые прямоугольные шины сечением 100x10 мм, с длительно допустимым током 2860 А.

Найдем минимально допустимое сечение шины по термической стойкости:

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{B_K} \cdot 10^3}{C_T} , \quad (7.36)$$
$$s_{\min} = \frac{\sqrt{43} \cdot 10^3}{66} = 99.4 \text{ мм}^2 .$$

Найдем максимальную силу, действующую на проводники при трехфазном КЗ:

$$F_{\max}^3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} \cdot l \cdot i_{y0}^2 \cdot K_{\phi} \cdot K_p , \quad (7.37)$$

$$F_{\max}^3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{1} \cdot 1 \cdot 21500^2 \cdot 1 \cdot 1 = 80.1 \text{ Н.}$$

Найдем момент сопротивления поперечного сечения шины:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (7.38)$$

$$W = \frac{0.01 \cdot 0.1^2}{6} = 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Определим максимальное напряжение в материале шины:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}^3 \cdot l}{\lambda \cdot W}, \quad (7.39)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{80.1 \cdot 1}{8 \cdot 1.7 \cdot 10^{-5}} \cdot 10^{-6} = 0.6 \text{ МПа}.$$

Условие проверки на электродинамическую стойкость:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}}, \quad (7.40)$$

$$0.6 \text{ МПа} \leq 247.1 \text{ МПа},$$

где

$$\sigma_{\text{доп}} = 0.7 \cdot \sigma_p, \quad (7.41)$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 0.7 \cdot 353 = 247.1 \text{ МПа}.$$

Определим момент инерции поперечного сечения шины:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (7.42)$$

$$J = \frac{0.01 \cdot 0.1^3}{12} = 8.3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Определим частоту собственных колебаний:

$$f_0 = \frac{r_1^2}{2 \cdot \pi \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}}; \quad (7.43)$$

$$f_0 = \frac{3.14^2}{2 \cdot \pi \cdot 1^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 8.3 \cdot 10^{-7}}{2.5}} = 239.8 \text{ Гц}.$$

Т.к. частота собственных колебаний больше 200 Гц, то механический резонанс не появляется.

7.2.5 Выбор опорных изоляторов

Опорные изоляторы необходимы для крепления шин. Выбираем изолятор типа ИОР-10-3.75 П УХЛ2.

Опорные изоляторы выбираем и проверяем по параметрам:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.44)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по максимально допустимой нагрузке на головку изолятора:

$$F_{\max} \leq F_{доп}, \quad (7.45)$$

$$80.1 \text{ Н} < 1500 \text{ Н},$$

где

$$F_{доп} = 0.6 \cdot F_{разруш} \cdot \frac{H_u}{H}, \quad (7.46)$$

$$F_{дон} = 0.6 \cdot 3750 \cdot \frac{0.12}{0.18} = 1500 \text{ Н.}$$

где

$$H = H_u + b + \frac{h}{2}, \quad (7.47)$$

$$H = 0.12 + 0.01 + \frac{0.1}{2} = 0.18 \text{ м.}$$

Опорный изолятор ИОР-10-3.75 II УХЛ2 прошел проверку.

7.2.6 Выбор проходных изоляторов

Выбираем проходной изолятор типа ИП-10/5000-42,5 УХЛ2 .

Проходные изоляторы выбираем и проверяем по параметрам:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.48)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.49)$$

$$2425 \text{ А} < 5000 \text{ А};$$

- по максимально допустимой нагрузке на головку изолятора:

$$F_{расч} \leq 0.6 \cdot F_{разр}, \quad (7.50)$$

$$23.1 \text{ Н} < 25500 \text{ Н},$$

где

$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{i_{y\partial}^2}{a} \cdot l_{из} \cdot 10^{-7}, \quad (7.51)$$

$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{21500^2}{1} \cdot 1 \cdot 10^{-7} = 23.1 \text{ Н}.$$

Проходной изолятор ИП-10/5000-42,5 УХЛ2 прошел проверку.

8 Расчет заземления подстанции

Характеристикой электробезопасности является предельно допустимое значение напряжения прикосновения, которое должно быть обеспечено при всех условиях эксплуатации объекта [22].

Рабочее заземление должно обеспечивать при эксплуатации следующие функции электроустановок:

- правильную работу релейной защиты от замыканий на землю; правильную работу защит от перенапряжений; передачу в грунт молниевых разрядов; передачу несимметричных рабочих токов; защиту изоляции цепей и оборудования низкого напряжения; снижение влияний электромагнитного поля на вторичные цепи; обеспечивать защиту расположенного под землей оборудования и различных коммуникаций от перегрузок по току;

- выравнивание разности потенциалов и обеспечивать защиту от статического электричества;

- взрыво- и пожаробезопасность.

Заземляющие устройства должны отвечать жестким требованиям обеспечения электробезопасности всех людей обслуживающих электроустановки и обеспечивать надежную работу электрооборудования установки во всех режимах работы в течение всего срока службы.

При времени отключения тока КЗ $\tau = 0.5$ с наибольшее допустимое напряжение прикосновения составляет $U_{пр.доп} = 500$ В.

Найдем напряжение на заземлителе:

$$U_3 = \frac{U_{пр.доп}}{k_{II}}, \quad (8.1)$$

$$U_3 = \frac{500}{0.269} = 1858 \text{ В},$$

где коэффициент напряжения прикосновения:

$$\kappa_{II} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_6 L_2}{a\sqrt{S}}\right)^{0.45}}, \quad (8.2)$$

$$\kappa_{II} = \frac{0.5 \cdot 0.94}{\left(\frac{5 \cdot 294}{10 \cdot \sqrt{1782}}\right)^{0.45}} = 0.269,$$

коэффициент, зависящий от сопротивления тела человека:

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + 1.5\rho_{\text{в.с}}}, \quad (8.3)$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1.5 \cdot 40} = 0.94.$$

Найденное значение напряжения на заземлителе находится в пределах допустимого значения 10 кВ.

Сопротивление ЗУ должно соответствовать неравенству:

$$R_3 < R_{3.\text{дон}}. \quad (8.4)$$

Найдем число ячеек по стороне расчетной модели заземлителя:

$$m = \frac{L_2}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1, \quad (8.5)$$

$$m = \frac{294}{2 \cdot \sqrt{1782}} - 1 \approx 2.$$

Найдем длину полос в расчетной модели:

$$L_2' = 2\sqrt{S}(m+1), \quad (8.6)$$

$$L_2 = 2\sqrt{1782} \cdot (2 + 1) = 253.3 \text{ м.}$$

Найдем длину сторон ячейки:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}, \quad (8.7)$$

$$b = \frac{\sqrt{1782}}{2} = 21.1 \text{ м.}$$

Найдем количество вертикальных заземлителей по периметру контура:

$$n_g = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_g}, \quad (8.8)$$

$$n_g = \frac{\sqrt{1782} \cdot 4}{1.5} \approx 34.$$

Найдем суммарную длину вертикальных заземлителей:

$$L_g = l_g \cdot n_g, \quad (8.9)$$

$$L_g = 5 \cdot 34 = 170 \text{ м.}$$

Найдем относительную глубину погружения вертикальных электродов:

$$\frac{l_B + t}{\sqrt{S}}, \quad (8.10)$$

$$\frac{5 + 0.7}{\sqrt{1782}} = 0.135.$$

Найдем суммарное сопротивление сложного заземлителя:

$$R_3 = A \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_2 + L_6}, \quad (8.11)$$

$$R_3 = 0.331 \cdot \frac{40}{\sqrt{1782}} + \frac{40}{294 + 170} = 0.4 \text{ Ом},$$

где

$$A = \left(0.444 - 0.84 \frac{l_\epsilon + t}{\sqrt{S}} \right), \quad (8.12)$$

$$A = 0.444 - 0.84 \cdot 0.135 = 0.331;$$

Суммарное сопротивление сложного заземлителя R_3 меньше допустимого сопротивления $R_{3,доп}$ $0.4 < 0.5 \text{ Ом}$.

Заключение

В выпускной квалификационной работе бакалавра была определена силовая электрическая нагрузка и нагрузка освещения термического производства завода металлургии и машиностроения. Суммарная расчётная нагрузка предприятия с учетом компенсации реактивной мощности и с учетом подключенных сторонних потребителей составила $S_p = 80,9$ МВА.

Определены мощности цеховых комплектных трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности. Всего к установке в термическом производстве принято 9 КТП с силовыми трансформаторами мощностью от 250 до 1000 кВА.

В качестве напряжения питания предприятия используется напряжение 110 кВ. Внешнее электроснабжение предприятия выполнено кабельными линиями 110 кВ от близлежащей ТЭЦ. Выполнено технико-экономическое обоснование оптимальной номинальной мощности силовых трансформаторов ГПП, в результате которого к установке приняты трансформаторы ТРДЦНК-63000/110/10/10.

Выполнены расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка основных электрических аппаратов на ГПП и выполнен расчет заземления главной понизительной подстанции.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. Раздел 6. Электрическое освещение. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. - 7-е изд. - Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2014.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей – М.: Омега-Л, 2015.
3. Сивков, А.А. Основы электроснабжения. Учебное пособие / А.А. Сивков, Д.Ю. Герасимов, А.С. Сайгаш – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.
4. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин – М.: Academia, 2015.
5. Meier, A. von. Electric power systems: a conceptual introduction / A. von Meier. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.
6. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М: Стандартинформ, 2014.
7. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358–90 от 1 августа 1993 г.
8. Шлейников, В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учеб. пособие / В.Б. Шлейников, Т.В. Сазонова. - Оренбург : ОГУ, 2014.
9. Электроснабжение: выбор и проверка токоведущих частей и коммутационных аппаратов: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет ; сост. Т.В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2014.
10. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов. Учебное пособие / В.П. Шеховцов – М.: Форум, Инфра-М, 2015.

11. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова – Москва: Форум, 2014.
12. Prostean, O. Unconventional sources for electric substation ancillary services power supply / O. Prostean, S. Kilyeni, C. Barbulescu, G. Vuc, I. Borlea. - Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power - ICHQP 2013, Bergamo, 2013, pp. 1-6.
13. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учеб. пособие / В.Я. Ушаков ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2014.
14. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум, 2015.
15. Cardoso, A. A virtual reality system for real time control of electric substations / A. Cardoso. - 2013 IEEE Virtual Reality, 2013, pp. 165-166.
16. Ковалев, И.Н. Электроэнергетические системы и сети: учебник / И. Н. Ковалев. - Москва : Учеб.-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015.
17. Шукуров, И.С. Инженерные сети: учебник / И.С. Шукуров, И.Г. Дьяков, К.И. Микири. - Москва : МГСУ : ЭБС АСВ, 2016.
18. Электроснабжение: методические указания к курсовой работе для студентов очной и очно-заочной форм обучения / сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2013.
19. Hickey, R.V. Electrical Engineer's Portable Handbook / R.V. Hickey, V. Robert. – USA: McGraw-Hill Companies, 2013.
20. Старшинов, В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебное пособие / В.А. Старшинов, М.В. Пираторов, М.А. Козина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015.
21. Khan, S. Industrial power systems / S. Khan, S. Khan, G. Ahmed. – Boca Raton: CRC Press, 2016.
22. Дьяков, А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов / А.Ф. Дьяков – Москва: МЭИ, 2015.