

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения завода металлических конструкций

Обучающийся

Н. В. Денисенко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А. Г. Сорокин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается процесс проектирования системы электроснабжения для завода металлических конструкций. Автор исследует основные требования и нормы, предъявляемые к системам электроснабжения, а также анализирует различные варианты схем и конфигураций электроснабжения.

Работа включает в себя изучение особенностей технологического процесса завода, определение электрических нагрузок и выбор оборудования. Также рассматриваются вопросы молниезащиты ГПП предприятия.

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, девяти разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 69 листах формата А4, содержит 12 таблиц и 7 рисунков.

Содержание

Введение.....	4
1 Расчет электрических нагрузок	7
2 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП.....	16
3 Картограмма нагрузок и определение центра электрических нагрузок.....	22
4 Определение типа, количество и мощности КТП	25
5 Выбор сечения питающей линии и распределительных сетей	32
5.1 Выбор сечения питающей линии.....	32
5.2 Выбор сечения распределительных сетей	33
6 Внешнее электроснабжение предприятия	38
6.1 Расчет токов КЗ сети 110 кВ	38
6.2 Выбор коммутационных и измерительных аппаратов.....	40
7 Расчет токов короткого замыкания	45
8 Выбор аппаратов и токоведущих частей	54
9 Молниезащита ГПП предприятия	61
Заключение	65
Список используемой литературы и используемых источников.....	67

Введение

Современные промышленные предприятия, в частности заводы металлических конструкций, представляют собой сложные технические объекты, эффективность и безопасность работы которых напрямую зависит от качества проектирования и реализации систем электроснабжения. Электроснабжение обеспечивает функционирование всех производственных процессов и оборудования, поэтому его проектирование требует тщательного и комплексного подхода, учитывающего все возможные аспекты и требования.

Актуальность темы выпускной квалификационной работы «Проектирование системы электроснабжения завода металлических конструкций» обусловлена значимостью эффективного и надежного электроснабжения промышленных предприятий, в частности завода металлических конструкций, для стабильного функционирования и развития экономики страны.

Проектирование системы электроснабжения является ключевым этапом в обеспечении качества и безопасности производства, а также в минимизации энергозатрат. Эффективное электроснабжение позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, сократить затраты на эксплуатацию и ремонт оборудования, увеличить производительность труда и конкурентоспособность предприятия на рынке.

В связи с постоянным развитием технологий, изменением законодательства и нормативных требований, возникает необходимость в модернизации и оптимизации существующих систем электроснабжения. В работе будут рассмотрены актуальные вопросы выбора и применения электрооборудования, разработки схем электроснабжения, расчета токов короткого замыкания, а также анализа и управления качеством электроэнергии.

Таким образом, актуальность темы данной ВКР определяется важностью постоянного совершенствования систем электроснабжения для повышения эффективности и надежности работы предприятий, а также необходимостью изучения и внедрения передовых технологий и методов проектирования.

Целью данной работы является разработка проекта системы электроснабжения завода металлических конструкций, позволяющую обеспечить надежное и экономичное электроснабжение всех потребителей предприятия, учитывая его производственные мощности и специфику работы.

«Объектом исследования является завод металлических конструкций. Предметом исследования является система электроснабжения завода металлических конструкций. На основании поставленной цели необходимо выделить следующие задачи ВКР» [27]:

- провести расчет электрических нагрузок;
- выбрать трансформаторы ГПП;
- определить центр электрических нагрузок;
- выбрать трансформаторы КТП;
- выбрать проводники предприятия;
- разработать внешнее электроснабжение завода;
- рассчитать токи КЗ;
- выбрать аппараты и токоведущие части;
- разработать молниезащиту ГПП завода металлических конструкций.

Практическая значимость ВКР заключается в разработке и внедрении проекта системы электроснабжения, которая обеспечит стабильную и надежную работу завода металлических конструкций. Это позволит снизить затраты на электроэнергию, улучшить условия труда сотрудников и повысить общую эффективность производства. Кроме того, применение современных технологий и решений в области электроснабжения будет способствовать экологической безопасности предприятия и снижению выбросов вредных веществ в атмосферу.

«В работе использовались методы системного и инженерного анализа, расчета и моделирования электрических схем, а также экономического анализа» [5].

В процессе проектирования системы электроснабжения будут учтены все требования и нормы, предъявляемые к промышленным объектам данного типа. В работе будут рассмотрены основные аспекты обеспечения надежности, безопасности, экономичности и экологической совместимости создаваемой системы электроснабжения.

Результаты данной работы позволят обеспечить качественное и надежное электроснабжение завода, что, в свою очередь, будет способствовать повышению производительности и конкурентоспособности предприятия на рынке металлических конструкций.

1 Расчет электрических нагрузок

Для успешного проектирования системы электроснабжения необходимо провести расчет электрических нагрузок. Это позволяет определить требуемую мощность и параметры оборудования, а также выбрать наиболее оптимальные и экономически выгодные решения. В данном разделе ВКР будут представлены результаты расчетов электрических нагрузок для всех участков и потребителей завода металлических конструкций, что позволит определить места установки трансформаторов и КТП, а также трассы прокладки электрических сетей.

«Для расчета нагрузок на предприятии будет использоваться усовершенствованный метод упорядоченных диаграмм» [21].

«Расчет нагрузок по электроремонтному цеху. Рассматривается подробно заготовительное отделение. В данном отделении находится 74 электроприемника общей номинальной мощностью 1610,5 кВт. Для их питания в отделении устанавливается 1 распределительный шинопровод ШР–1» [21].

«Значения коэффициента использования по активной мощности и коэффициента мощности $\cos\varphi$ для каждой из групп электроприемников определяется по справочнику» [23].

«Для каждой группы однотипных потребителей электроэнергии равной единичной мощности находим средние мощности» [20]:

$$P_{\text{ср}} = k_{\text{иа}} \cdot n \cdot p_{\text{ном}}, \quad (1)$$

$$Q_{\text{ср}} = k_{\text{иа}} \cdot n \cdot p_{\text{ном}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2)$$

где n – количество потребителей электроэнергии;

$p_{\text{ном}}$ – установленная мощность одного потребителя электроэнергии, кВт.

Эффективное число электроприемников – это параметр, который используется для определения расчетной нагрузки в системах электроснабжения. Он позволяет учесть неравномерность нагрузки на разных фазах и определить общую нагрузку на систему. Эффективное число электроприемников рассчитывается по формуле [20]:

$$n_3 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n p_{\text{ном}i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n p_{\text{ном}i}^2}, \quad (3)$$

где n – «число потребителей электроэнергии» [21];

$p_{\text{ном}i}$ – «установленная активная мощность i -го потребителя электроэнергии, кВт» [21].

$$n_3 = \frac{1610,5^2}{57099} = 45.$$

Средневзвешенный коэффициент использования [20]:

$$K_{\text{иа}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\text{иа}i} \cdot p_{\text{ном}i}}{\sum_{i=1}^n p_{\text{ном}i}}, \quad (4)$$

где $k_{\text{иа}i}$ – коэффициент использования i -го потребителя.

«Средневзвешенное значение $\text{tg}\varphi$ определяется по выражению» [20]:

$$\text{tg}\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\text{иа}i} \cdot p_{\text{ном}i} \cdot \text{tg}\varphi_i}{\sum_{i=1}^n k_{\text{иа}i} \cdot p_{\text{ном}i}}, \quad (5)$$

где $\text{tg}\varphi_i$ – «коэффициент реактивной мощности i -го потребителя» [21],

после чего определяется $\cos\varphi$.

Расчетные нагрузки для системы II уровня:

$$P_p = K_{pa} \cdot \sum_{i=1}^n k_{iai} \cdot p_{номi}, \quad (6)$$

$$Q_p = K_{pp} \cdot \sum_{i=1}^n k_{iai} \cdot p_{номi} \cdot \text{tg}\varphi_i, \quad (7)$$

где K_{pa} – «коэффициент расчетной нагрузки по активной мощности, определяется согласно» [20], $k_{pa} = f(n_3, k_{иа})$;

K_{pp} – коэффициент расчетной нагрузки по реактивной мощности.

$$K_{pp} = 1 + \frac{1}{6 \cdot \sqrt{n_3}}. \quad (8)$$

«Полная расчетная нагрузка группы трехфазных потребителей электроэнергии определяется по выражению» [21]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (9)$$

«Расчетный ток» [21]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (10)$$

где $U_{ном}$ – «номинальное напряжение электросети, В» [21],

«Определяется пиковая нагрузка по отделению. Выбирается ЭП с максимальным пусковым током – кран мостовой с параметрами: $P_{\text{ном}}=81$ кВт – установленная мощность; $\cos\varphi=0,5$; $K_{\text{пуск}}=5$ – кратность пускового тока» [21].

«Пусковой ток» [21]:

$$I_{\text{пуск}} = \frac{K_{\text{пуск}} \cdot P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi}, \quad (11)$$

«Пиковый ток по отделению» [21]:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}} + I'_p, \quad (12)$$

где I'_p – «расчетный ток без учета запускаемого приемника, А» [21].

Чтобы определить полную расчетную мощность всего цеха, требуется учитывать нагрузку электроосвещения. «Расчетную нагрузку системы электроосвещения следует определять по формуле» [21]:

$$P_{\text{р.осв}} = k_{\text{с.осв}} \cdot P_{\text{у.осв}} \cdot F_{\text{ц}}, \quad (13)$$

где $k_{\text{с.осв}}$ – коэффициент спроса;

$P_{\text{у.осв}}$ – удельная нагрузка электроосвещения цеха, Вт/м²;

$F_{\text{ц}}$ – площадь цеха, м².

Расчетную реактивную мощность системы электроосвещения цеха можно определить по формуле

$$Q_{\text{р.осв}} = P_{\text{р.осв}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{осв}}, \quad (14)$$

где $\text{tg}\varphi_{\text{осв}}$ – коэффициент реактивной мощности системы освещения цеха.

тогда

$$P_{p.осв} = 0,9 \cdot 0,015 \cdot 5293 = 71,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.осв} = 71,5 \cdot 0,33 = 23,5 \text{ квар}.$$

«Полную расчетную низковольтную нагрузку цеха можно определить по выражению» [21]:

$$S_{p.ц} = \sqrt{(P_{p.ц} + P_{p.осв})^2 + (Q_{p.ц} + Q_{p.осв})^2}. \quad (15)$$

«На этом расчет электрических нагрузок по электроремонтному цеху заканчивается, все результаты расчета сведены в таблицу 1» [21].

«Расчет нагрузок по предприятию. Особенностью расчета нагрузок на III уровне и выше коэффициент расчетной нагрузки по реактивной мощности принимается равным коэффициенту расчетной нагрузки по активной мощности $K_{pp}=K_{pa}$. Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_{pa} находятся из [21]. Следует отметить, что при $k_{наи} \cdot p_{номи} \leq 100$ кВт значения коэффициентов расчётной нагрузки целесообразно определять так же, как и для второго уровня» [21]. «При определении расчетной нагрузки потребителей электроэнергии напряжением 10 кВ необходимо учитывать, что $K_{pa}=1$. В этом случае расчетная активная» [21] мощность равна средней активной мощности, а расчетная реактивная мощность равна средней реактивной мощности.

«Результаты расчёта нагрузок по заводу металлических конструкций представим в таблице 2» [21].

Таблица 1 – Расчет нагрузок по отделением

Наименование узлов СЭС и электроприемников	n	Уст мощ-ть		K _{ИА}	cosφ	tgφ	P _С , кВт	Q _С , кВт	nЭ	K _{РА}	K _{РР}	P _Р , кВт	Q _Р , квар	S _Р , кВА
		P _{НОМ} , кВт	P _{СУМ} , кВт											
Отделение крупных редукторов (ШР-1)									–	–	–	–	–	–
1 Токарно-винторезный станок	6	10	60	0,12	0,50	1,73	7,2	12,5						
2 То же	2	15	30	0,14	0,45	1,98	4,2	8,3	–	–	–	–	–	–
3 То же	6	28	168	0,13	0,50	1,73	21,8	37,8	–	–	–	–	–	–
4 Карусельный станок	16	28	448	0,20	0,65	1,17	89,6	104,8	–	–	–	–	–	–
5 То же	2	40	80	0,18	0,65	1,17	14,4	16,8	–	–	–	–	–	–
6 То же	2	35	70	0,19	0,65	1,17	13,3	15,5	–	–	–	–	–	–
7 Горизонтально-расточной станок	9	7	63	0,12	0,50	1,73	7,6	13,1	–	–	–	–	–	–
8 То же	1	14	14	0,14	0,45	1,98	2,0	3,9	–	–	–	–	–	–
9 Продольно-строгальный станок	6	40	240	0,13	0,45	1,98	31,2	61,9	–	–	–	–	–	–
10 Долбежный станок	2	28	56	0,12	0,50	1,73	6,7	11,6	–	–	–	–	–	–
11 Горизонтально-фрезерный станок	3	10	30	0,20	0,65	1,17	6,0	7,0	–	–	–	–	–	–
12 Вертикально-фрезерный станок	2	10	20	0,18	0,65	1,17	3,6	4,2	–	–	–	–	–	–
13 Продольно-фрезерный станок	1	30	30	0,17	0,65	1,17	5,1	6,0	–	–	–	–	–	–
14 Радиально-сверлильный станок	6	4,5	27	0,12	0,45	1,98	3,2	6,4	–	–	–	–	–	–
15 Вентилятор	7	4,5	31,5	0,80	0,80	0,75	25,2	18,9	–	–	–	–	–	–
16 Мостовой кран	3	81	243	0,15	0,50	1,73	36,5	63,1	–	–	–	–	–	–
Итого силовой нагрузки по ШР-1	74	–	1610,5	0,17	0,58	1,41	277,6	392,0	45,4	1,06	1,02	294,2	401,7	497,9
Отделение сварки (ШР-2)	47	–	769,5	0,36	0,56	1,49	277,2	412,8	18,1	1,00	1,04	277,2	429	510,8
Термическое отделение (ШР-3)	63	–	1242	0,30	0,70	1,01	377,3	382,5	27,0	1,00	1,03	377,3	394,8	546,1
Всего силовой нагрузки по цеху	184	–	3622,0	0,26	0,62	1,27	932,1	1187,2	89,2	0,68	0,68	633,8	807,3	1026,4
Освещение	–	–	79,4	0,90	0,95	0,33	–	–	–	–	–	71,5	23,5	75,2
Итого с учетом освещения	184	–	3701,4	0,26	0,62	1,27	932,1	1187,2	89,2	–	–	705,3	830,8	1089,8

Таблица 2 – Расчет нагрузок по заводу металлических конструкций

Наименование цехов и узлов СЭС	$P_{ном}, \text{кВт}$	n_{Σ}	$P_{\Sigma}, \text{кВт}$	$K_{ИД}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_C, \text{кВт}$	$Q_C, \text{квар}$	$K_{РА}$	$P_R, \text{кВт}$	$Q_R, \text{квар}$	$P_{РО}, \text{кВт}$	$Q_{РО}, \text{квар}$	$P_R+P_{РО}, \text{кВт}$	$Q_R+Q_{РО}, \text{квар}$	$S, \text{кВА}$
Нагрузка 0,4 кВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 Прокатный цех	-	250	7880	0,60	0,80	0,75	4728	3546	0,80	3782	2837	91	27	3874	2864	4818
2 Сталепроволочный цех	-	300	8400	0,70	0,85	0,62	5880	3644	0,80	4704	2915	163	49	4867	2964	5699
3 Склад №1	-	16	160	0,45	0,75	0,88	72	63	1,00	72	63	4	1	76	65	99
4 Оцинковальный цех	-	100	5370	0,60	0,80	0,75	3222	2417	0,80	2578	1933	84	25	2662	1958	3305
5 Насосная станция	-	10	1835	0,80	0,85	0,62	1468	910	0,90	1321	819	8	3	1330	821	1563
6 Градирня	-	4	85	0,80	0,85	0,62	68	42	1,25	85	53	3	1	88	54	103
7 Насосно-фильтровальная станция	-	20	2000	0,80	0,85	0,62	1600	992	0,90	1440	892	7	2	1447	895	1701
8 Гвоздильный цех	-	50	1990	0,77	0,80	0,75	1532	1149	0,85	1302	977	97	29	1399	1006	1723
9 Склад №2	-	17	170	0,45	0,80	0,75	77	57	1,00	77	57	4	1	80	58	99
10 Склад готовой продукции	-	20	210	0,45	0,75	0,88	95	83	1,00	95	83	12	4	106	87	137
11 Склад материалов	-	30	525	0,45	0,75	0,88	236	208	0,77	182	160	26	8	208	168	267
12 Блок очистных сооружений	-	20	3000	0,85	0,90	0,48	2550	1235	0,85	2168	1050	54	16	2222	1066	2464
13 ЭРЦ	-	89	3622	0,26	0,62	1,27	932	1187	0,68	634	807	71	21	705	829	1088
14 Шурупный цех	-	100	2220	0,70	0,80	0,75	1554	1166	0,80	1243	932	124	37	1368	970	1677
15 ЦЗЛ	-	60	1240	0,40	0,75	0,88	496	437	0,70	347	306	10	3	357	309	472
16 Цех сетей и подстанций	-	12	120	0,40	0,65	1,17	48	56	1,05	50	59	13	4	63	63	89
17 Циркуляционно-насосная станция	-	40	800	0,80	0,80	0,75	640	480	0,85	544	408	11	3	555	411	691
Освещение территории	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	176	53	176	53	184
Итого по нагрузке 0,4 кВ	-	750	39627	0,64	0,82	0,70	25198	17673	0,80	20158	14139	959	288	21583	14641	26080
Нагрузка 10 кВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Наименование цехов и узлов СЭС	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{Э}}$	P_{Σ} , кВт	$K_{\text{ИД}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{С}}$, кВт	$Q_{\text{С}}$, квар	$K_{\text{РА}}$	$P_{\text{Р}}$, кВт	$Q_{\text{Р}}$, квар	$P_{\text{РО}}$, кВт	$Q_{\text{РО}}$, квар	$P_{\text{Р}}+P_{\text{РО}}$, кВт	$Q_{\text{Р}}+Q_{\text{РО}}$, квар	S , кВА
1 Прокатный цех	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Преобразователи частоты	1800	6	10800	0,70	0,75	0,88	7560	6667	1,00	7560	6667	–	–	–	–	–
4 Оцинковальный цех	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
СД1	630	4	2520	0,70	0,75	–0,88	1764	–1556	1,00	1764	–1556	–	–	–	–	–
7 Насосно–фильтровальная станция	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
СД2	1000	4	4000	0,75	0,80	–0,75	3000	–2250	1,00	3000	–2250	–	–	–	–	–
Итого по нагрузке 10 кВ	–	14	17320	0,71	0,97	0,23	12324	2862	–	12324	2862	–	–	–	–	–
Итого по предприятию	–	–	56947	0,66	0,88	0,55	37522	20535	0,85	27610	14450	959	288	28569	14738	32146

Выводы по разделу один.

В первом разделе ВКР на основе анализа технологического процесса и структуры завода металлических конструкций были определены категории надежности электроснабжения потребителей и рассчитаны значения электрических нагрузок для каждого участка завода. Кроме того, определены нагрузки высоковольтных электроприемников, которые необходимо подключать непосредственно от РУ 10 кВ ГПП предприятия.

«Суммарная активная мощность завода металлических конструкций составляет 28569 кВт, суммарная полная мощность завода металлических конструкций составляет 32146 кВА» [5].

Полученные результаты позволяют выбрать оптимальные параметры и схему электроснабжения предприятия, а также определить требуемую мощность трансформаторов и места их установки.

2 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП

«Напряжение питания ГПП завода определяется возможностью подключения от конкретных подстанций или электростанций с конкретными классами напряжения, расстоянием от ГПП до данных подстанций или электростанций, возможностью строительства ВЛ для передачи электрической энергии и другими факторами. Рациональное напряжение питания ГПП приближенно определяется по формуле Стилла» [11]:

$$U_{\text{рац}} = 4,34 \sqrt{L + 0,016 \cdot P_{\text{р.п}}}, \quad (16)$$

где $P_{\text{р.п.}}$ – «расчетная активная мощность завода на стороне низкого напряжения ГПП, кВт» [11];

L – длина питающей ВЛ, км.

«Сборные шины 10 кВ ГПП согласно [21] необходимо отнести к системе V уровня, тогда расчетную активную нагрузку завода можно определить по выражению» [5]:

$$P_{\text{р.п.}} = K_{\text{ом}} \left[\sum_{i=1}^m P_{\text{pi}}^{(3)} + \sum_{i=1}^M k_{\text{наи}} \cdot p_{\text{номи}} + \sum_{i=1}^L \Delta P_{\text{Ti}} \right] + \sum_{i=1}^n P_{\text{р.осви}}, \quad (17)$$

где $K_{\text{ом}}$ – «коэффициент одновременности максимумов» [5];

$\sum_{i=1}^m P_{\text{pi}}^{(3)}$ – «суммарное значение расчетной активной нагрузки узлов

СЭС III уровня, которые непосредственно питаются от СШ НН ГПП, кВт» [5];

$\sum_{i=1}^M k_{\text{наи}} \cdot p_{\text{номи}}$ – «суммарное значение расчетной активной нагрузка

высоковольтных потребителей электроэнергии, питающихся от СШ НН ГПП, кВт» [5];

$\sum_{i=1}^L \Delta P_{Ti}$ – «сумма потерь активной мощности в силовых трансформаторах ЦТП, кВт» [5];

$\sum_{i=1}^n P_{p.освi}$ – «суммарное значение расчетной активной мощности цеховой осветительной нагрузки, кВт» [5].

«Коэффициент одновременности максимумов является функцией количества присоединений к СШ ГПП n (m –число ТП, питающихся от ГПП, M –число высоковольтных электроприемников, подключенных к ГПП) и средневзвешенного коэффициента использования по предприятию $K_{ИА}$ и приводится в РТМ 36.18.32.4–92. Число присоединений $n = m + M = 18 + 14 = 32$; $K_{ИА} = 0,66$, тогда $K_{ОМ} = 0,85$. Таким образом» [5].

$$P_{p.п.} = 0,85 \cdot (20158 + 12324 + 322) + 959 = 28842 \text{ кВт.}$$

«Тогда рациональное напряжение по выражению (16) составит» [5]

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{11,5 + 0,016 \cdot 28842} = 86 \text{ кВ.}$$

Для электроснабжения предприятия принимается напряжение 110 кВ.

«Теперь следует приступить к выбору трансформаторов ГПП предприятия. Номинальная мощность трансформаторов ГПП определяется из условия получения из энергосистемы всей необходимой расчётной активной мощности предприятия и нормированного значения реактивной мощности по выражению» [5]:

$$S_{p.п.} = \sqrt{P_{p.п.}^2 + (Q_{эс} - \Delta Q_{т.ГПП})^2}, \quad (18)$$

где $Q_{эс}$ – «экономическая целесообразная реактивная мощность на ВН ГПП, которая потребляется заводом от энергетической системы, квар» [5];

$\Delta Q_{т.ГПП}$ – «величина потерь реактивной мощности в силовых трансформаторах ГПП, квар» [5].

«Экономическая целесообразная реактивная мощность на ВН ГПП, которая потребляется заводом от энергетической системы выбирается как наименьшая из рассматриваемых» [5]:

$$Q'_{эс} = P_{р.п.} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{\text{норм}}, \quad (19)$$

$$Q''_{эс} = Q_{р.п.} - \frac{0,7}{k_{н.р.}} Q_{сд.м}, \quad (20)$$

где $\operatorname{tg}\varphi_{\text{норм}}$ – «нормируемый $\operatorname{tg}\varphi$ для данного уровня напряжения» [5];

$k_{н.р.}$ – «коэффициент несовпадения реактивной мощности» [5].

$$Q'_{эс.110} = 28842 \cdot 0,5 = 14421 \text{ квар.}$$

«Величина расчетной реактивной мощности предприятия» [5]:

$$Q_{р.п.} = K_{ом} \left(\sum_{i=1}^{N1} k_{наi} \cdot P_{номi} + \sum_{i=1}^{M1} Q_{pi}^{III} + \sum_{i=1}^L \Delta Q_{Ti} \right) + \sum Q_{р.осв.}, \quad (21)$$

$$Q_{р.п.} = 0,85 \cdot (14139 + 6667 + 1769) + 288 = 19477 \text{ квар.}$$

Величина располагаемой реактивной мощности СД:

$$Q_{сд.м} = \alpha_m \cdot N_{сд} \cdot \sqrt{P_{сд.ном}^2 + Q_{сд.ном}^2}, \quad (22)$$

где $\alpha_m=0,6$ – «коэффициент допустимой перегрузки синхронных двигателей по реактивной мощности» [5].

$$Q_{\text{СД.м1}} = 0,6 \cdot 4 \cdot \sqrt{630^2 + 320^2} = 1696 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{СД.м2}} = 0,6 \cdot 4 \cdot \sqrt{1000^2 + 457^2} = 2639 \text{ квар}.$$

Тогда

$$Q''_{\text{эс}} = 19554 - \frac{0,7}{0,85} \cdot (1696 + 2639) = 15984 \text{ квар}.$$

Окончательно принимается:

$$Q_{\text{эс.110}} = Q'_{\text{эс.110}} = 14421 \text{ квар}.$$

«Коэффициент реактивной мощности, задаваемый предприятию энергосистемой» [5]:

$$\text{tg}\varphi_3 = \frac{Q_{\text{эс}}}{P_{\text{р.п}}}, \quad (23)$$

$$\text{tg}\varphi_{3.110} = \frac{14421}{28842} = 0,50.$$

«Величина потерь реактивной мощности в силовых трансформаторах ГПП» [5]:

$$\Delta Q_{\text{т.ГПП}} = 0,07 \sqrt{P_{\text{р.п.}}^2 + Q_{\text{эс}}^2}, \quad (24)$$

$$\Delta Q_{\text{т.ГПП.110}} = 0,07 \sqrt{28842^2 + 11537^2} = 2257 \text{ квар},$$

тогда

$$S_{p.n.110} = \sqrt{28842^2 + (14421 - 2257)^2} = 31302 \text{ квар.}$$

«На ГПП необходимо установить два силовых трансформатора. Номинальную мощность каждого из трансформаторов необходимо определять из соотношения» [5]:

$$S_{т.ном} \geq \frac{S_{p.n.}}{n \cdot k_{з.н.}}, \quad (25)$$

где $n = 2$ – количество трансформаторов на ГПП;

$k_{з.н.} = 0,7$ – «коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме» [5].

$$S_{т.ном.110} \geq \frac{31302}{2 \cdot 0,7} = 22359 \text{ кВА.}$$

«Таким образом, принимаются трансформаторы типа ТРДН–25000/110/10/10 У1, технические характеристики которых представлены в таблице 3» [30].

Таблица 3 – Параметры трансформаторов

Технические характеристики	Значение
Номинальная мощность, МВА	25
Напряжение ВН, кВ	110
Напряжение ВН, кВ	10
Потери КЗ, кВт	120
Потери ХХ, кВт	22
Напряжение КЗ, %	10
Ток ХХ, %	0,3
Ступени регулирования РПН в нейтрали ВН	$\pm 9 \times 1,78\%$
Габаритные размеры, мм	5960 x 4300 x 5380
Полная масса, кг	49200

«Коэффициент загрузки выбранных трансформаторов в нормальном режиме» [31]:

$$k_{з.н.} = \frac{S_{р.п.}}{n \cdot S_{н.т.}}, \quad (26)$$

$$k_{з.н.} = \frac{31302}{2 \cdot 25000} = 0,63.$$

«Коэффициент загрузки выбранных трансформаторов в послеаварийном режиме» [31]:

$$k_{з.пав.} = \frac{S_{р.п.}}{(n-1) \cdot S_{н.т.}}, \quad (27)$$

$$k_{з.пав.} = \frac{31302}{(2-1) \cdot 25000} = 1,26.$$

Выводы по разделу два.

Во втором разделе ВКР выбраны силовые трансформаторы ГПП. С учетом результатов расчетов электрических нагрузок и анализа режимов работы завода металлических конструкций выбран оптимальный вариант схемы электроснабжения с использованием двух трансформаторов ТРДН–25000/110/10/10 У1 на ГПП. Определены требуемые мощности трансформаторов, которые обеспечивают надежное и качественное электроснабжение потребителей при различных режимах работы завода.

3 Картограмма нагрузок и определение центра электрических нагрузок

Картограмма нагрузок - это графическое представление нагрузок на СЭС в виде точек на карте. Каждая точка соответствует определенной нагрузке, а ее размер пропорционален мощности нагрузки. Картограмма нагрузок используется для определения оптимального местоположения подстанций и распределительных пунктов, а также для планирования развития энергетической инфраструктуры.

«Радиус круга и углы секторов для цехов можно определить по выражениям» [33]:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (28)$$

$$\alpha_{н/вi} = 360 \frac{P_{р.н/вi}}{P_{pi}}, \quad (29)$$

$$\alpha_{в/вi} = 360 \frac{P_{р.в/вi}}{P_{pi}}, \quad (30)$$

$$\alpha_{осв/вi} = 360 \frac{P_{р.освi}}{P_{pi}}, \quad (31)$$

где P_{pi} , $P_{р.н/вi}$, $P_{р.в/вi}$, $P_{р.освi}$ – «расчетные активные мощности всего цеха, потребителей электроэнергии напряжением до 1 кВ, потребителей электроэнергии напряжением свыше 1 кВ и электроосвещения, кВт; m – масштаб площади окружностей, кВт/мм²» [33].

«Масштаб определяется из условия, что радиус круга, который соответствует минимальной расчетной нагрузке составляет 5 мм» [33]:

$$m = \frac{P_{p/min}}{\pi \cdot R_{min}^2},$$

$$m = \frac{63}{3,14 \cdot 5^2} = 0,81 \text{ кВт/мм}^2.$$

ЦЭН завода – это точка на карте, которая соответствует геометрическому центру нагрузок всех потребителей электроэнергии на заводе. Определение центра электрических нагрузок позволяет оптимально разместить подстанции и распределительные устройства, а также снизить затраты на прокладку электрических сетей. Координаты ЦЭН [2]:

$$x_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}, \quad (32)$$

$$y_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}, \quad (33)$$

где x_i, y_i – «координаты центра i -го цеха на генплане предприятия, м.

За координаты начала отсчета принимается левый нижний угол предприятия на генплане» [33].

Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчёт картограммы электрических нагрузок

Наименование цеха	P_{pi} , кВт	$P_{p.n/vi}$, кВт	$P_{p.osvi}$, кВт	$P_{p.v/vi}$, кВт	X_i , м	Y_i , м	R_i , мм	$\alpha_{n/vi}$, град	$\alpha_{осв/vi}$, град	$\alpha_{v/vi}$, град
1 Прокатный цех	11434	3782	91	7560	521	486	67	119	3	238
2 Сталепроволочный цех	4867	4704	163	–	378	393	44	348	12	0
3 Склад №1	76	72	4	–	393	300	5	343	17	0

Продолжение таблицы 4

Наименование цеха	P_{pi} , кВт	$P_{р.п/вi}$, кВт	$P_{р.освi}$, кВт	$P_{р.в/вi}$, кВт	X_i , м	Y_i , м	R_i , мм	$\alpha_{н/вi}$, град	$\alpha_{осв/вi}$, град	$\alpha_{в/вi}$, град
4 Оцинковальный цех	4426	2578	84	1764	380	207	42	210	7	143
5 Насосная станция	1330	1321	8	–	279	485	23	358	2	0
6 Градирня	88	85	3	–	227	492	6	346	14	0
7 Насосно– фильтровальная станция	4447	1440	7	3000	206	457	42	117	1	243
8 Гвоздильный цех	1399	1302	97	–	235	365	23	335	25	0
9 Склад №2	80	77	4	–	271	236	6	344	16	0
10 Склад готовой продукции	106	95	12	–	274	186	6	320	40	0
11 Склад материалов	208	182	26	–	232	206	9	315	45	0
12 Блок очистных сооружений	2222	2168	54	–	74	474	30	351	9	0
13 ЭРЦ	705	634	71	–	49	249	17	324	36	0
14 Шурупный цех	1368	1243	124	–	133	356	23	327	33	0
15 ЦЗЛ	357	347	10	–	70	355	12	350	10	0
16 Цех сетей и подстанций	63	50	13	–	98	244	5	286	74	0
17 Циркуляционно–насосная станция	555	544	11	–	39	480	15	353	7	0
Итого	33730	20624	783	12324	346	410	–	–	–	–

При выборе места расположения ГПП, кроме расположения ЦЭН учтены нижеприведенные факторы: площадь, которая необходима для ГПП; ландшафт местности; место для коридоров для прокладки ВЛ и КЛ. С учетом этого, принимаются «координаты размещения ГПП завода металлических конструкций: $x_{ГПП} = 508$ м; $y_{ГПП} = 384$ м» [5].

Выводы по разделу три.

В третьем разделе ВКР на основании результатов расчетов электрических нагрузок построена картограмма нагрузок завода металлических конструкций. Определено географическое расположение центра электрических нагрузок, которое является ключевым параметром при выборе мест установки трансформаторов на ГПП и определении трасс прокладки электрических сетей.

4 Определение типа, количество и мощности КТП

«Количество и мощность силовых трансформаторов зависят от распределения нагрузок по цеху, наличия места для размещения цеховой подстанции, характеристики и режима работы потребителей электроэнергии. Мощность трансформаторов определяется по формуле» [5]:

$$S_{т.н} \geq \frac{P_{р.ц}}{N_{т} \cdot K_{з.доп}}, \quad (34)$$

где $N_{т}$ – общее число трансформаторов в цехе.

«Величина наибольшей реактивной мощности, которую силовой трансформатор может передать в сеть низшего напряжения из условия допустимой загрузки» [15]:

$$Q_{1р} = \sqrt{(N_{т} \cdot K_{з.доп} \cdot S_{т.н})^2 - P_{р.ц}^2}. \quad (35)$$

«В общем случае мощности $Q_{1р}$ и $Q_{р.ц}$ не равны. Поэтому реальная величина реактивной мощности Q_1 , проходящей через трансформатор определяется из соотношений» [15]:

$$Q_1 = \begin{cases} Q_{р.ц}, & \text{если } Q_{1р} \geq Q_{р.ц} \\ Q_{1р}, & \text{если } Q_{1р} < Q_{р.ц} \end{cases}. \quad (36)$$

«Из анализа выражения (41) следует:

– Если наибольшая реактивная мощность $Q_{1р}$ оказывается больше или равной расчётной реактивной нагрузке цеха $Q_{р.ц}$, то это означает, что через трансформатор из сети напряжением 10 кВ в сеть низшего напряжения будет передаваться мощность Q_1 , равная расчётной реактивной нагрузке цеха $Q_{р.ц}$ » [15].

– «Если оказывается, что мощность Q_{1p} меньше нагрузки $Q_{p.ц}$, то есть трансформаторы ТП не могут пропустить всю расчётную реактивную нагрузку $Q_{p.ц}$, то для устранения дефицита реактивной мощности на стороне НН ТП необходимо установить» [15] устройство компенсации реактивной мощности (УКРМ). УКРМ — это электротехническое устройство, предназначенное для автоматического регулирования мощности и поддержания требуемого коэффициента мощности в электрической сети. УКРМ состоит из конденсаторных батарей, автоматических выключателей, контакторов, регуляторов мощности и других элементов. Устройство компенсации реактивной мощности позволяет снизить потери электроэнергии, улучшить качество электроэнергии и повысить надёжность электроснабжения потребителей. Его мощность составляет:

$$Q_{к.н} = Q_{p.ц} - Q_1, \quad (37)$$

«Для трансформаторов выбранной мощностью определяются фактические коэффициенты загрузки в нормальном и послеаварийном режимах работы ТП» [15]:

$$K_{з.н} = \frac{\sqrt{P_{p.ц}^2 + Q_1^2}}{N_T \cdot S_{т.н}}. \quad (38)$$

$$K_{з.п} = \frac{\sqrt{P_{p.ц}^2 + Q_1^2}}{(N_{т.вз.рез} - 1) \cdot S_{н.т.i}} \cdot \frac{N_{т.вз.рез}}{N_T}. \quad (39)$$

«В качестве примера рассматривается расчет ТП–5 для оцинковального цеха. Плотность электрической нагрузки цеха составляет 0,71, а значит, по данному параметру необходимо выбрать трансформатор мощностью

2500 кВА, однако данные трансформаторы будут не полностью загруженными» [15].

«Категория по надёжности электроснабжения вторая, значит, в данном цехе необходимо предусмотреть установку двухтрансформаторной ТП. При установке в цехе двухтрансформаторной ТП номинальная мощность трансформатора определяется из условия» [15]:

$$S_{т.н} \geq \frac{2662}{2 \cdot 0,7} = 1901 \text{ кВА}.$$

«Поэтому принимается единичная мощность трансформаторов 2000 кВА» [5].

«Величина наибольшей реактивной мощности, которую силовой трансформатор может передать в сеть низшего напряжения из условия допустимой загрузки» [5]:

$$Q_{1р} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 2000)^2 - 2662^2} = 868 \text{ квар}.$$

Так как

$$Q_{1р} > Q_{р.ц},$$
$$868 < 1958 \text{ квар},$$

«то на стороне НН ТП необходимо устанавливать УКРМ» [15].

Результаты расчетов трансформаторов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора трансформаторных подстанций

Наименование цехов и узлов СЭС	К.Н.	P _P , кВт	Q _P , квар	S _P , кВА	F _Ц , м ²	σ, кВА/м ²	S _{ЭТ} , кВА	Номер ТП	Тип тр-ра	S _{НОМТР} , кВА	n _Т	Кол-во ТП	K _{ЗДОП}	Q _{ПР} , квар	Q ₁ , квар	Q _{КУ} , квар	K _{ЗНОРМ}	K _{ЗТП/АВ}	ΔP _{XX} , кВт	ΔP _{КЗ} , кВт	I _{XX} , %	U _{КЗ} , %	ΔP _Т , кВт	ΔQ _Т , квар	P _P +ΔP _Т , кВт	Q _Т +ΔQ _Т , квар	S _P , кВА	
1 Прокатный цех	2	3874	2864	4818	5070	0,95	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП1–ТП2:		3874	2864	4818	5070	0,95	1600	1–2	ТМЗ	1600	2	2	0,7	2251	2251	614	0,70	1,40	1,7	17,3	0,5	6,0	41	220	3914	2471	4629	
2 Сталепроволочный цех	2	4867	2964	5699	12096	0,47	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 Склад №1	3	76	65	99	588	0,17	2000	НПП-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП3–ТП4:		4943	3029	5797	12096	0,47	2000	3–4	ТМЗ	2000	2	2	0,7	2632	2632	397	0,70	1,40	2,6	24,0	0,4	4,8	57	220	5000	3249	5963	
4 Оцинковальный цех	2	2662	1958	3305	4680	0,71	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП5:		2662	1958	3305	4680	0,71	2000	5	ТМЗ	2000	2	1	0,7	868	868	1090	0,70	1,40	2,6	24,0	0,4	4,8	29	110	2691	2069	3394	
5 Насосная станция	2	1330	821	1563	702	2,23	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП6:		1330	821	1563	702	2,23	2500	6	ТМЗ	1000	2	1	0,7	438	438	383	0,70	1,40	1,4	10,8	0,6	5,5	13	66	1343	504	1435	
6 Градирня	3	88	54	103	420	0,25	1000	НПП-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 Насосно-фильтровальная станция	2	1447	895	1701	588	2,89	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП:		1535	948	1805	588	2,89	2500	7	ТМЗ	1000	2	1	0,8	450	450	498	0,80	1,4*	1,4	10,8	0,6	5,5	17	82	1552	532	1641	
8 Гвоздильный цех	2	1399	1006	1723	8064	0,21	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП8:		1399	1006	1723	8064	0,21	1000	8	ТМЗ	1000	2	1	0,7	47	47	959	0,70	1,40	1,4	10,8	0,6	5,5	13	66	1413	113	1417	

Продолжение таблицы 5

Наименование цехов и узлов СЭС	К.Н.	P _P , кВт	Q _P , квар	S _P , кВА	F _Ц , м ²	σ, кВА/м ²	S _{ЭТ} , кВА	Номер ТП	Тип тр-ра	S _{НОМТР} , кВА	пт	Кол-во ТП	К _{3ТДОП}	Q _{IP} , квар	Q _I , квар	Q _{КУ} , квар	К _{3ТНОРМ}	К _{3ТП/АВ}	ΔP _{XX} , кВт	ΔP _{КЗ} , кВт	I _{XX} , %	U _{КЗ} , %	ΔP _T , кВт	ΔQ _T , квар	P _P +ΔP _T , кВт	Q _T +ΔQ _T , квар	S _P , кВА	
9 Склад №2	3	80	58	99	600	0,17	1000	НПП-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 Склад готовой продукции	3	106	87	137	1950	0,07	400	НПП-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 Склад материалов	3	208	168	267	4320	0,06	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП9:		394	314	504	4320	0,12	630	9	ТМЗ	630	1	1	0,9	408	314	0	0,80	-	1,0	7,6	0,6	5,5	6	26	400	339	525	
12 Блок очистных сооружений	2	2222	1066	2464	4500	0,55	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП10:		2222	1066	2464	4500	0,55	2500	10	ТМЗ	1600	2	1	0,7	287	287	779	0,70	1,40	1,7	17,3	0,5	6,0	20	110	2242	397	2277	
13 ЭРЦ	3	705	829	1088	5293	0,21	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16 Цех сетей и подстанций	3	63	63	89	960	0,09	630	РПН-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП11:		769	892	1177	5293	0,22	1000	11	ТМЗ	1000	1	1	0,9	468	468	423	0,90	-	1,4	10,8	0,6	5,5	10	59	779	527	940	
14 Шурупный цех	2	1368	970	1677	9216	0,18	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 ЦЗЛ	2	357	309	472	864	0,55	2500	РПН-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП12-ТП13:		1725	1279	2147	9216	0,23	1000	12-13	ТМЗ	630	2	2	0,7	371	371	908	0,70	1,40	1,0	7,6	0,6	5,5	19	83	1743	454	1802	
17 Циркуляционно-насосная станция	2	555	411	691	918	0,75	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по ТП14:		555	411	691	918	0,75	2500	14	ТМЗ	630	2	1	0,7	685	411	0	0,65	1,30	1,0	7,6	0,6	5,5	8	37	563	448	720	

Продолжение таблицы 5

Наименование цехов и узлов СЭС	К.Н.	Р _Р , кВт	Q _Р , квар	S _Р , кВА	F _Ц , м ²	σ, кВА/м ²	S _{ЭТ} , кВА	Номер ТП	Тип тр-ра	S _{НОМТР} , кВА	пТ	Кол-во ТП	К _{ЗТДОП}	Q _{ПР} , квар	Q ₁ , квар	Q _{КУ} , квар	К _{ЗТНОРМ}	К _{ЗТП/АВ}	ΔP _{XX} , кВт	ΔP _{КЗ} , кВт	I _{XX} , %	U _{КЗ} , %	ΔP _Т , кВт	ΔQ _Т , квар	P _{Р+ΔP_Т} , кВт	Q _{Т+ΔQ_Т} , квар	S _Р , кВА	
Потери в трансформаторах технологических установок	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 Прокатный цех	-	-	-	-	-	-	-	-	ТСЗП	2500	1	4	-	-	-	-	-	-	3,5	18,5	1,05	9,88	690	-	-	-	-	
Итого по предприятию:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	322	1769	21640	11103	-	-	

Мощность УКРМ составляет:

$$Q_{к.н} = 1958 - 868 = 1090 \text{ квар.}$$

«Фактические коэффициенты загрузки в нормальном и послеаварийном режимах работы ТП» [5]:

$$K_{з.н} = \frac{\sqrt{2662^2 + 868^2}}{2 \cdot 2000} = 0,70,$$

$$K_{з.п} = \frac{\sqrt{2662^2 + 868^2}}{2 \cdot 2000} = 1,40.$$

«Выбор остальных цеховых трансформаторных подстанций представлен в таблице 5» [5].

Для обеспечения электроснабжения потребителей 0,4 кВ в цехах обычно используются трансформаторные подстанции. Однако, если мощность потребителей в цехе невелика, то экономически более выгодным может быть установка распределительного пункта (РПН). В этом случае РПН подключается к сети 0,4 кВ трансформаторной подстанции соседнего цеха.

Выводы по разделу четыре.

В четвертом разделе ВКР определены типы, количество и мощности комплектных трансформаторных подстанций (КТП) для обеспечения надежного и качественного электроснабжения потребителей завода металлических конструкций с учетом категорий надежности и особенностей технологического процесса. Предложены оптимальные места установки КТП, что позволяет снизить затраты на строительство и эксплуатацию системы электроснабжения завода. Кроме того, определены цеха, в которых устанавливаются распределительные пункты.

5 Выбор сечения питающей линии и распределительных сетей

5.1 Выбор сечения питающей линии

Нагрузка в начале ЛЭП [10]:

$$S_{\text{р.л.}} = \sqrt{(P_{\text{р.л.}} + \Delta P_{\text{T}})^2 + Q_{\text{эс}}^2} \quad (40)$$
$$S_{\text{р.л.}} = \sqrt{(28842 + 122)^2 + 14421^2} = 32370 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток одной цепи ЛЭП [10]:

$$I_{\text{р.л.}} = \frac{S_{\text{р.л.}}}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot U_{\text{ном}}} \quad (41)$$
$$I_{\text{р.л.}} = \frac{32370}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 110} = 85 \text{ А.}$$

Ток в послеаварийном режиме [10]:

$$I_{\text{п}} = 2 \cdot I_{\text{р.л.}} \quad (42)$$
$$I_{\text{п}} = 2 \cdot 85 = 170 \text{ А.}$$

«Сечение проводов линии электропередачи (ЛЭП) определяется на основе экономической плотности тока, которая зависит от типа проводника, материала и срока службы ЛЭП. Расчет производится по формуле» [32]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.л.}}}{j_{\text{э}}} \quad (43)$$

где $j_{\text{э}}$ – «экономическая плотность тока, А/мм²» [16].

$$F_3 = \frac{85}{1,1} = 77 \text{ мм}^2.$$

Принимаются провода АС–3х70/11.

5.2 Выбор сечения распределительных сетей

«Сечение кабелей 10 кВ необходимо определять по условию экономической плотности тока и проверять по току в послеаварийном режиме, потерям напряжения в послеаварийном режиме, а также термической стойкости к ТКЗ» [14].

«Расчетный ток, который протекает по КЛ в нормальном режиме определяется по формуле» [28]:

$$I_{p.k} = \frac{S_{p.k}}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (44)$$

«Мощность $S_{p.k}$, передаваемая по КЛ в нормальном режиме» [28]:

– «для случая питания однитрансформаторной ЦТП $S_{p.k}$ – расчетная мощность трансформатора ЦТП» [28];

– «для случая питания двухтрансформаторной ЦТП $S_{p.k}$ – расчетная мощность, которая приходится на один трансформатор ЦТП» [28];

– «для магистральной КЛ мощность $S_{p.k}$ необходимо определять для каждого участка суммированием расчетных нагрузок силовых трансформаторов, которые питаются по этому участку магистральной КЛ» [28];

«К примеру, расчетный ток, который протекает по КЛ, питающей ТП–1, равен» [28]:

$$I_{p.k.1} = \frac{2314}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 127 \text{ А.}$$

«Сечение КЛ первоначально необходимо определить по экономической плотности тока по выражению» [28]:

$$F_3 = \frac{I_{p.k.}}{j_3}, \quad (45)$$

где j_3 – «экономическая плотность тока, А/мм²» [28].

«Для кабелей с алюминиевыми жилами и изоляцией из СПЭ при $T_m=4355$ ч/год [19] экономическая плотность тока составляет $j_3=1,7$ А/мм², тогда сечение КЛ» [19]:

$$F_{31} = \frac{127}{1,7} = 75 \text{ мм}^2.$$

«По результатам расчета необходимо выбрать кабель, который имеет ближайшее стандартное сечение, поэтому принимаем кабель типа АПвПу–10 (3х70) с параметрами: длительно–допустимый ток $I_{доп1}=165$ А, удельные сопротивления: $r_0=0,55$ Ом/км, $x_0=0,12$ Ом/км» [24].

«Фактический допустимый ток кабеля с учетом условий его прокладки равен» [28]:

$$I_{доп.ф} = K_n \cdot K_t \cdot I_{доп} > \frac{I_{p.k.}}{n_k}; \quad (46)$$

где K_n – «коэффициент на количество параллельно укладываемых кабелей» [16];

K_t – «коэффициент на температуру среды» [16];

n_k – «количество запараллеленных кабелей в КЛ» [28].

$$I_{\text{доп.ф.1}} = 0,93 \cdot 1,00 \cdot 165 = 153 > \frac{127}{1} = 127 \text{ А.}$$

«Условие выполнено.

Под послеаварийным режимом КЛ понимается режим, когда отключена одна из двух КЛ, которые питают потребителей II категории по надежности электроснабжения, тогда» [28]:

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_{\text{р.к.}}, \quad (47)$$

$$I_{\text{ав1}} = 2 \cdot 127 = 254 \text{ А.}$$

«Допустимая перегрузка кабеля в послеаварийном режиме определяется по выражению» [28]:

$$I'_{\text{ав}} = K_{\text{ав}} \cdot I_{\text{доп.ф}}, \quad (48)$$

где $K_{\text{ав}}$ – «коэффициент, определяется в зависимости от K_3 » [28]:

$$K_3 = \frac{I_{\text{р.к.}}}{I'_{\text{доп}}}, \quad (49)$$

$$K_3 = \frac{127}{153} = 0,83,$$

$$I'_{\text{ав}} = 1,25 \cdot 153 = 192 \text{ А.}$$

Для остальных линий результаты расчета приведены в таблице 6.

«Проверка по току перегрузки выполняется по формуле» [28]:

$$I'_{\text{ав}} \geq \frac{I_{\text{ав}}}{n_{\text{к}}}, \quad (50)$$

$$192 \text{ А} < 254 \text{ А.}$$

Таблица 6 – Расчет кабельных линий

Конечные пункты КЛ	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	$I_{pк}$, А	F_{Σ} , мм ²	$F_{г.с.}$, мм ²	$F_{ст.}$, мм ²	Тип кабеля	$I_{ав}$, А	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	$I'_{ав}$, А	L, км	ΔU , %
КЛ 10 кВ	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ГПП – ТП1	1957	1235	2314	127	75	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	254	245	228	285	0,106	0,14
ТП1 – ТП2	979	618	1157	64	37	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	127	245	228	285	0,098	0,06
ГПП – ТП3	1250	812	1491	82	48	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	164	225	232	290	0,134	0,11
ГПП – ТП4	1250	812	1491	82	48	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	164	225	232	290	0,072	0,06
ГПП – ТП5	1345	1034	1697	94	55	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	188	245	208	260	0,176	0,16
ГПП – ТП6	1448	518	1538	85	50	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	169	245	208	260	0,285	0,25
ТП6 – ТП7	776	266	820	45	27	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	90	245	228	285	0,052	0,02
ГПП – ТП8	706	56	709	39	23	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	78	225	232	290	0,228	0,09
ГПП – ТП9	400	339	525	29	17	150	150	АПвПу–10 (3х150)	–	245	208	–	0,342	0,10
ГПП – ТП10	1403	423	1465	81	47	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	161	245	213	266	0,548	0,45
ТП10 – ТП14	282	224	360	20	12	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	40	245	228	285	0,024	0,02
ГПП – ТП11	779	527	940	52	30	150	150	АПвПу–10 (3х150)	–	245	208	–	0,492	0,26
ГПП – ТП12	872	227	901	50	29	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	99	225	232	290	0,376	0,19
ТП12 – ТП13	436	114	450	25	15	150	150	2хАПвПу–10 (3х150)	50	225	232	290	0,062	0,02
ГПП – ПЧ	1800	1587	2400	132	78	150	150	АПвПу–10 (3х150)	–	195	166	–	0,152	0,24
ГПП – СД1	630	–556	840	46	27	70	70	АПвПу–10 (3х70)	–	165	140	–	0,184	0,10
ГПП – СД2	1000	–750	1250	69	40	70	70	АПвПу–10 (3х70)	–	165	140	–	0,336	0,31
КЛ 0,4 кВ	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ТП3 – НРП1	76	65	99	143	–	–	50	ААПл–1 (4х50)	–	165	144	–	0,044	3,41
ТП7 – НРП2	88	54	103	149	–	–	50	ААПл–1 (4х50)	–	165	165	–	0,022	1,96
ТП9 – НРП3	80	58	99	143	–	–	50	ААПл–1 (4х50)	–	165	153	–	0,025	2,04
ТП9 – НРП4	106	87	137	198	–	–	70	ААПл–1 (4х70)	–	200	200	–	0,032	2,54
ТП11 – НРП5	63	63	89	129	–	–	35	ААПл–1 (4х35)	–	135	135	–	0,028	2,57
ТП12 – НРП6	178	155	236	331	–	–	185	2хААПл–1 (4х185)	331	260	268	335	0,030	1,75

«следовательно, выбранный кабель не прошел проверку по току перегрузки, поэтому принимаем решение увеличить сечение кабеля до АПвПу–10 (3х120) с параметрами: длительно–допустимый ток $I_{\text{доп}} = 220$ А, удельные сопротивления: $r_0=0,41$ Ом/км, $x_0=0,12$ Ом/км» [28].

Тогда

$$I_{\text{доп.ф.1}} = 0,93 \cdot 1,00 \cdot 220 = 205 > \frac{127}{1} = 127 \text{ А},$$

$$I'_{\text{ав}} = 1,25 \cdot 205 = 256 > 254 \text{ А}.$$

«Условие выполнено. Потеря напряжения в КЛ» [28]:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot r_0 \cdot L + Q_1 \cdot x_0 \cdot L}{n_k \cdot U_n^2} \cdot 100\% \leq \Delta U_{\text{доп}} = 5\%, \quad (51)$$

где r_0 и x_0 – «удельные сопротивления кабеля, Ом/км» [28];

L – длина КЛ, км.

Расчет всех кабельных линий представлен в таблице 6.

Выводы по разделу пять.

В пятом разделе ВКР проведены расчеты и выбран оптимальный вариант питающей линии завода металлических конструкций на основе анализа технических требований, экономической эффективности и экологической безопасности. Выбраны типы и сечения проводников, которые обеспечивают надежную передачу электроэнергии от главной понизительной подстанции до потребителей на всех участках завода.

6 Внешнее электроснабжение предприятия

6.1 Расчет токов КЗ сети 110 кВ

«Расчет токов короткого замыкания (КЗ) в сети напряжением 110 кВ проводится для определения параметров коммутационной аппаратуры, выбора уставок релейной защиты» [18] и проверки электрооборудования на термическую и динамическую стойкость к токам КЗ.

«Расчетная схема и схема замещения для расчётов ТКЗ показана на рисунке 1» [18].

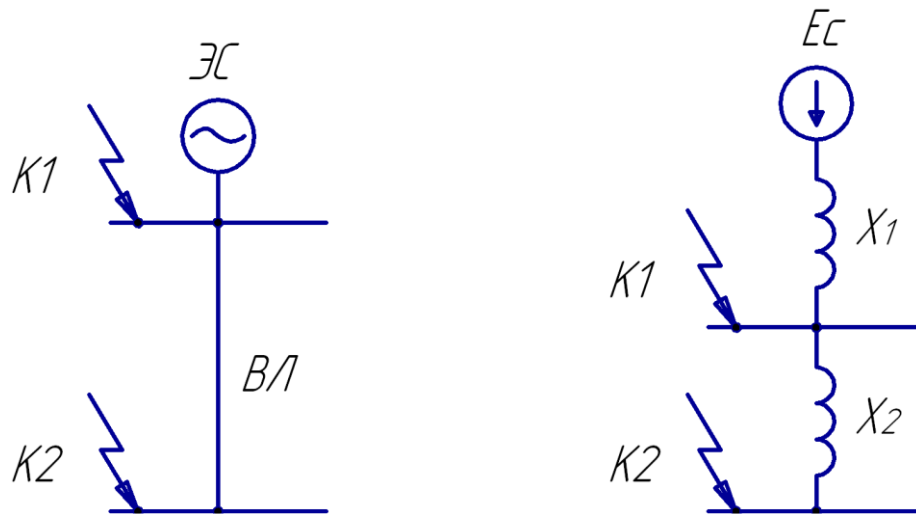


Рисунок 1 – Расчетная схема и схема замещения для расчётов ТКЗ

«Определяется сопротивление элементов, указанных на схеме замещения.

Сопротивление энергосистемы» [18];

$$x_1 = x_c = \frac{S_0}{S_k}. \quad (52)$$

где S_0 – «базисная мощность, МВА» [18];

S_k – мощность КЗ, МВА,

$$x_1 = x_c = \frac{1000}{3550} = 0,282.$$

Ток КЗ в точке К1

$$I_{k1} = I_{пт1} = I_{п01} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6 \cdot x_1}, \quad (53)$$

$$I_{k1} = I_{пт1} = I_{п01} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 0,282} = 17,8 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ в точке К1:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд1} \cdot I_{k1}. \quad (54)$$

где $k_{уд}$ – ударный коэффициент [18],

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,72 \cdot 17,8 = 43,2 \text{ кА.}$$

Сопротивление ВЛ:

$$x_2 = \frac{x_0 \cdot L \cdot S_6}{U_6^2}. \quad (55)$$

где x_0 – «удельное реактивное сопротивление питающей ВЛ, Ом/км» [18];

U_6 – базисное напряжение, В,

$$x_2 = \frac{0,41 \cdot 11,5 \cdot 1000}{115^2} = 0,38.$$

«Ток КЗ в точке К2 определяется по формуле» [18]:

$$I_{k2} = I_{пт2} = I_{п02} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6 \cdot (x_1 + x_2)}. \quad (56)$$

$$I_{k2} = I_{пт2} = I_{п02} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot (0,28 + 0,38)} = 7,6 \text{ кА}.$$

Ударный ток КЗ в точке К2:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2} \cdot I_{k2}. \quad (57)$$

где $k_{уд}$ – ударный коэффициент [18],

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,72 \cdot 7,6 = 19,2 \text{ кА}.$$

6.2 Выбор коммутационных и измерительных аппаратов

Выбор коммутационных и измерительных аппаратов производится на основе расчетных токов и напряжений, а также требований к надежности и быстродействию. Коммутационные аппараты должны обеспечивать необходимую отключающую способность, а измерительные - точность измерений и соответствие классу точности.

Выключатели напряжением 110 кВ предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах, а также для осуществления оперативных переключений. «Выключатели выбираются по условиям» [27]:

– по номинальному напряжению

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (58)$$

– по номинальному току

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{max}} ; \quad (59)$$

где I_{max} – «ток в питающих ВЛ для утяжеленного режима, А» [11];

«Ток в утяжеленном режиме в питающих линиях» [11]:

$$I_{\text{max}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{H}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{H}}} ; \quad (60)$$

– по номинальной отключающей способности

$$I_{\text{п,т}} \leq I_{\text{отк.ном}} ; \quad (61)$$

– по электродинамической стойкости

$$I_{\text{п,0}} < I_{\text{пр.скв.}} = I_{\text{дин.}} , \quad (62)$$

$$i_{\text{у}} \leq i_{\text{пр.скв.}} = i_{\text{дин.}} ; \quad (63)$$

где $I_{\text{пр.скв.}}$, $i_{\text{пр.скв.}}$ – «действующее и амплитудное значения предельного сквозного ТКЗ, А» [11];

– «по условию возможности отключения аperiodической составляющей ТКЗ $i_{\text{а,т}}$ в момент τ расхождения контактов выключателя» [11]:

$$i_{\text{а,т}} \leq i_{\text{а,ном}} ; \quad (64)$$

«Аperiodическую составляющую ТКЗ вычисляется по формуле» [11]:

$$i_{\text{а,т}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п,0}} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{\text{а}}}} , \quad (65)$$

где τ – «время от возникновения короткого замыкания КЗ до прекращения соприкосновения контактов, с» [11];

T_a – «постоянная времени затухания аperiodической составляющей КЗ» [27].

Расчетное время

$$\tau = t_{p.z.min} + t_{c.b.}, \quad (66)$$

где $t_{p.z.min}$ – «минимальное время действия РЗ, с» [11];

$t_{c.b.}$ – «собственное время отключения выключателей ГПП, с» [11].

«Завод–изготовитель [4] гарантирует выключателям аperiodическую составляющую в отключаемом токе для времени τ » [11]:

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{отк,ном}. \quad (67)$$

– по термической стойкости к ТКЗ:

$$W_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}, \quad (68)$$

где W_k – «полный тепловой импульс короткого замыкания, $кА^2 \cdot с$ » [11].

$$W_k = I_{п,0}^2 \cdot (t_{отк} + T_a), \quad (69)$$

где $t_{отк}$ – «время от возникновения КЗ до его отключения, с» [11].

«Время от возникновения КЗ до его отключения составляет» [11]:

$$t_{отк} = t_{p.z.} + t_{o.b.}, \quad (70)$$

где $t_{p.z.}$ – время срабатывания РЗ силового трансформатора, с;

$t_{o.в.}$ – полное время отключения выключателя, с.

«Сравнение расчетных величин и каталожных данных [4] представлено в таблице 7» [11].

Таблица 7 – Выбор выключателей

Расчетные данные	Каталожные данные ВЭБ–110–40/1250
$U_{уст} = 110,0$ кВ	$U_{ном} = 110,0$ кВ
$I_{max} = 170$ А	$I_{ном} = 1250,0$ А
$I_{п,0} = 17,8$ кА	$I_{отк} = 40,0$ кА
$i_{a,\tau} = 7,2$ кА	$i_{a,ном.} = 22,6$ кА
$I_{п,0} = 17,8$ кА	$I_{пр.скв} = 40,0$ кА
$i_y = 43,4$ кА	$i_{дин} = 102,0$ кА
$B_k = 981,5$ кА ² ·с	4800 кА ² ·с

Разъединители напряжением 110 кВ предназначены для создания видимого разрыва электрической цепи и обеспечения безопасности при выполнении ремонтных работ на оборудовании.

Выбор разъединителей представлен в таблице 8 [17].

Таблица 8 – Выбор разъединителей

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные РГ–110/1000УХЛ1
$U_{ном} \geq U_{уст}$	$U_{уст} = 110,0$ кВ	$U_{ном} = 110$ кВ
$I_{ном} \geq I_{max}$	$I_{max} = 170$ А	$I_{ном} = 1000$ А
$i_{пр.скв.} \geq i_{дин.}$	$i_y = 30,5$ кА	$i_{дин} = 100$ кА
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$	$B_k = 981,5$ кА ² ·с	4800 кА ² ·с

Для учета потерь электроэнергии в трансформаторах главной понизительной подстанции предлагается установить счетчики электроэнергии «на стороне ВН трансформаторов. Счетчики будут подключаться ко вторичным обмоткам трансформаторов тока (ТТ) и трансформаторов напряжения (ТН). Устанавливаются трансформаторы напряжения» [26]

ЗНОГ–110У1.

Ограничители перенапряжения (ОПН) устанавливаются на главной понизительной подстанции (ГПП) для защиты оборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений. Они ограничивают амплитуду и длительность возникающих перенапряжений, предотвращая тем самым возможные повреждения оборудования и возникновение КЗ. Для защиты оборудования ГПП завода металлических конструкций от перенапряжений выбираются ограничители перенапряжения ОПН–110/56, ОПН–110/88 [13].

Выводы по разделу шесть.

В шестом разделе ВКР рассчитано внешнее электроснабжение предприятия. В результате проведенного расчета токов короткого замыкания сети 110 кВ были определены значения токов в различных точках сети, что позволило выбрать коммутационные и измерительные аппараты с соответствующими параметрами. Были выбраны выключатели, разъединители и трансформаторы тока, обеспечивающие надежную работу СЭС предприятия.

Таким образом, в данном разделе были выполнены все необходимые расчеты и выбран оптимальный вариант оборудования для обеспечения надежной и безопасной работы системы внешнего электроснабжения предприятия.

7 Расчет токов короткого замыкания

Для проверки выбранного электрооборудования на стойкость к термическим и динамическим воздействиям «токов КЗ необходимо рассчитать ток трехфазного короткого замыкания в ключевых точках системы электроснабжения предприятия и определить периодическую составляющую этого тока для наиболее тяжелого режима работы электрической сети. Таким режимом является ситуация, когда один из силовых трансформаторов главной понизительной подстанции выключен и включен секционный выключатель в распределительном устройстве 10 кВ подстанции, то есть все потребители электроэнергии питаются от одного силового трансформатора. Схема для расчёта ТКЗ представлена на рисунке 2» [29].

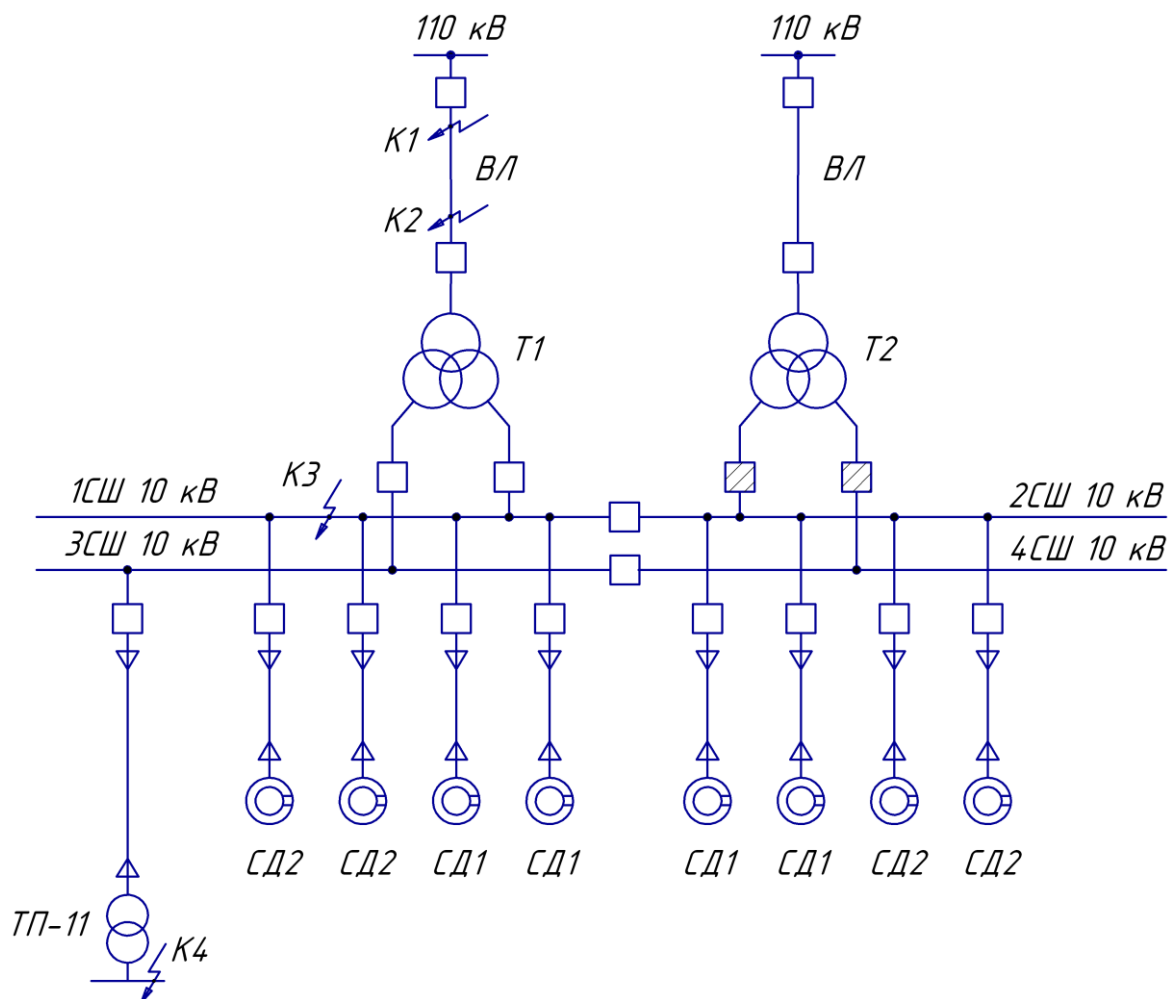


Рисунок 2 – Расчетная схема для расчета токов КЗ

«Расчёт ТКЗ выполняется в точках: K_1 и K_2 – рассчитаны ранее; K_3 – в распределительном устройстве 10 кВ ГПП; K_4 – в электросети напряжением 0,4 кВ» [29].

«При расчете токов КЗ в точках K_1 и K_2 подпитка от СД не учитывается. В подпитке точки K_3 участвуют высоковольтные двигатели, подключенные только к обеим секциям. При расчете тока короткого замыкания в точке K_4 в качестве источника учитывается только энергетическая система, а подпитка от электрических двигателей напряжением 10 кВ не рассматривается» [29].

«Для расчета ТКЗ по схеме электроснабжения завода (рисунок 2) необходимо составить схему замещения (рисунок 3)» [29].

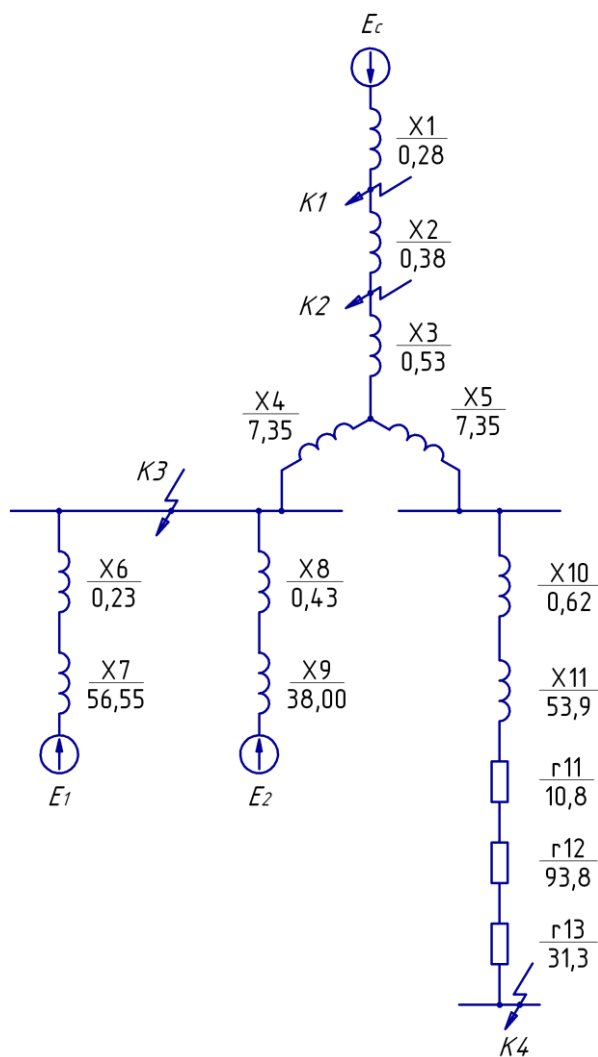


Рисунок 3 – Схема замещения для расчета ТКЗ

«Определяются параметры схемы замещения в о.е. при $S_6 = 1000$ МВА, при этом за базисное напряжение принимается напряжение той ступени, на которой возникло КЗ. Сопротивление трансформатора ГПП» [29]:

$$x_T = \frac{U_k \cdot S_6}{100 \cdot S_{н.т}}, \quad (71)$$

где U_k – напряжение КЗ;

$S_{н.т}$ – «установленная мощность трансформатора, кВА» [29],

$$x_T = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 4,20.$$

«Сопротивление обмотки ВН» [29]:

$$x_3 = 0,125 \cdot x_T, \quad (72)$$

$$x_3 = 0,125 \cdot 4,2 = 0,53.$$

«Сопротивление обмоток НН» [29]:

$$x_4 = x_5 = 1,75 \cdot x_T, \quad (73)$$

$$x_4 = x_5 = 1,75 \cdot 4,2 = 7,35.$$

Сопротивление КЛ

$$x_{кл} = \frac{1}{n_{кл}} \cdot x_{0кл} \cdot L_{кл} \cdot \frac{S_6}{U_{ср2}^2}, \quad (74)$$

где $n_{кл}$ – «число запараллеленных кабельных линий, шт.» [29];

$x_{0кл}$ – «удельное реактивное сопротивление КЛ, Ом/км» [29];

$L_{кл}$ – протяженность КЛ, км;

U_{cp2} – среднее напряжение КЛ, кВ.

Сопротивление СД:

$$x_d = \frac{1}{n_d} \cdot \frac{1}{I_{пуск}} \cdot \frac{S_6 \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{P_d}, \quad (75)$$

где $I_{пуск}$ – кратность пускового тока СД;

P_d – установленная активная мощность электродвигателя, кВт.

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) в сети до 1 кВ необходим для выбора оборудования и проверки его работоспособности. Он включает в себя определение токов и напряжений в установившемся режиме КЗ, а также оценку влияния различных факторов на результаты расчета. Результаты расчета позволяют определить параметры защитных аппаратов (автоматических выключателей, предохранителей и др.), а также проверить их соответствие требованиям нормативных документов. Расчет токов КЗ также может использоваться для определения необходимости установки устройств ограничения токов КЗ, таких как токоограничивающие реакторы или быстродействующие предохранители. «В электросети напряжением ниже 1 кВ требуется учесть активные сопротивления. Полное сопротивление трансформатора ЦТП–11» [18]:

$$z_T = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.т}}, \quad (76)$$

где U_k – напряжение КЗ, %;

$S_{н.т}$ – установленная мощность трансформатора, ВА.

$$z_{11} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{1000} = 55,0. \quad (77)$$

«Активное сопротивление трансформатора» [18]:

$$r_T = \Delta P_K \cdot \frac{S_6}{S_{HT}^2}, \quad (78)$$

где ΔP_K – «потери КЗ трансформатора, Вт» [18],

$$r_{11} = 10800 \cdot \frac{1000}{1000^2} = 10,8.$$

«Индуктивное сопротивление трансформатора» [18]:

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2}, \quad (79)$$

$$x_{11} = \sqrt{55,0^2 - 10,8^2} = 53,9.$$

«Согласно [19] для РУ цеховых ТП переходное сопротивление контактов принимается $r_k = 0,015$ Ом, тогда» [18]:

$$r_{12} = r_k \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (80)$$

$$r_{12} = 0,015 \cdot \frac{1000}{0,4^2} = 93,8.$$

«Активное сопротивление дуги в точке КЗ» [18]:

$$r_{13} = r_d \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (81)$$

$$r_{13} = 0,005 \cdot \frac{1000}{0,4^2} = 31,3.$$

«Для расчета токов КЗ в точке К₃ необходимо привести схему замещения (рисунок 3) к виду рисунка 4» [18].

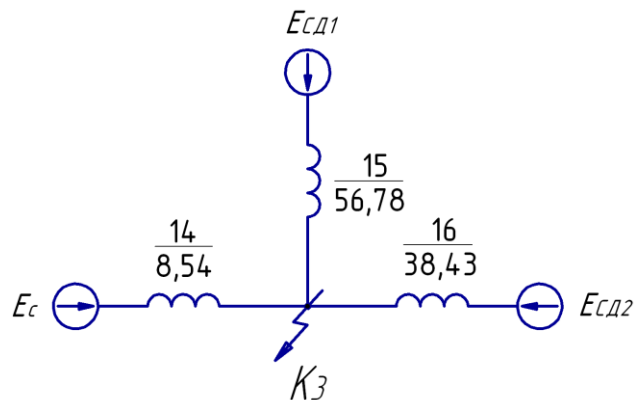


Рисунок 4 – Схема замещения для расчетов короткого замыкания в точке К₃

«Сопротивления элементов, представленных на схеме замещения, изображенной на рисунке 4, определяются по выражениям» [18]:

$$X_{14} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4, \quad (82)$$

$$X_{15} = X_6 + X_7, \quad (83)$$

$$X_{16} = X_8 + X_9, \quad (84)$$

Базисный ток

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (85)$$

$$I_6 = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА.}$$

«Начальное значение сверхпереходного тока каждой ветви» [18]:

$$I_c = \frac{E_c}{X_{14}} \cdot I_6, \quad (86)$$

$$I_{CD1} = \frac{E_1}{x_{15}} \cdot I_6, \quad (87)$$

$$I_{CD2} = \frac{E_1}{x_{16}} \cdot I_6, \quad (88)$$

$$I_c = \frac{1}{8,54} \cdot 55 = 6,4 \text{ кА},$$

$$I_{CD1} = \frac{1,1}{56,78} \cdot 55 = 1,1 \text{ кА},$$

$$I_{CD2} = \frac{1,1}{38,43} \cdot 55 = 1,6 \text{ кА}.$$

«Начальное значение ТКЗ в точке К₃» [18]:

$$I_{кз3/0'} = I_c + I_{CD1} + I_{CD2}, \quad (89)$$

$$I_{кз3/0'} = 6,4 + 1,1 + 1,6 = 9,1 \text{ кА}.$$

«Ударный ток короткого замыкания – это максимальное значение тока КЗ» [18], возникающее в начальный момент времени. Он определяется по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_k, \quad (90)$$

где $k_{уд}$ – «ударный коэффициент» [19],

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,92 \cdot 9,1 = 24,4 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ в точке К₃

$$S_{кз3} = \sqrt{3} \cdot U_6 \cdot I_k, \quad (91)$$

$$S_{кз3} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 9,1 = 165 \text{ МВА}.$$

Определяется ТКЗ в точке К₄.

«Суммарное активное сопротивление» [18]:

$$\begin{aligned}r_{\Sigma} &= r_{11} + r_{12} + r_{13}, \\r_{\Sigma} &= 10,8 + 93,8 + 31,3 = 135,8.\end{aligned}\tag{92}$$

«Суммарное индуктивное сопротивление» [18]:

$$\begin{aligned}x_{\Sigma} &= x_{10} + x_{11} + x_{14}, \\x_{\Sigma} &= 0,62 + 53,9 + 8,54 = 63,1.\end{aligned}\tag{93}$$

Полное сопротивление

$$\begin{aligned}z_{\Sigma} &= \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}, \\z_{\Sigma} &= \sqrt{135,8^2 + 63,1^2} = 149,7.\end{aligned}\tag{94}$$

«Мощность КЗ в точке К₄» [18]:

$$\begin{aligned}S_{кз4} &= \frac{S_{\delta}}{z_4}, \\S_{кз4} &= \frac{1000}{149,7} = 6,7 \text{ МВА}.\end{aligned}\tag{95}$$

«Ток КЗ при базисном напряжении $U_{\delta} = 0,4 \text{ кВ}$ » [18]:

$$\begin{aligned}I_{к4} &= \frac{S_{к4}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}}, \\I_{к4} &= \frac{6,7}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 9,6 \text{ кА}.\end{aligned}\tag{96}$$

Ударный ТКЗ в точке К₄

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_k, \quad (97)$$

где $k_{уд}$ – «ударный коэффициент» [19],

$$i_{уд4} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 9,6 = 21,8 \text{ кА.}$$

Выводы по разделу семь.

В седьмом разделе ВКР выполнены расчеты токов КЗ для завода металлических конструкций. Расчеты учитывали все основные элементы СЭС. Получены значения токов КЗ, которые будут использованы для выбора и проверки электрооборудования, а также для определения параметров защитных устройств.

8 Выбор аппаратов и токоведущих частей

Выбор аппаратов и токоведущих частей в системе электроснабжения является одним из основных этапов проектирования. Аппараты и токоведущие части должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить необходимую пропускную способность, а также безопасность и надежность работы системы. Кроме того, необходимо учитывать экономические факторы, такие как стоимость оборудования и затраты на его эксплуатацию и обслуживание.

«Выбор ячеек КРУ ГПП. Перед выбором и проверкой коммутационной и измерительной аппаратуры осуществляется выбор комплектного оборудования СЭС. Распределительное устройство РУ 10 кВ выполняем комплектным (КРУ) со шкафами типа К–104М. Тип выключателя для данных ячеек ВВЭ–10У, тип трансформаторов тока ТЛК» [8].

«Рабочий ток для утяжеленного режима вводной ячейки определяется по формуле» [12]:

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.г.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.}} \cdot 2}. \quad (98)$$

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot 25000}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 2} = 962,3 \text{ А.}$$

Тепловой импульс тока КЗ – это интеграл от квадрата тока за время короткого замыкания. Он характеризует количество тепловой энергии, выделяемой при КЗ, и «используется для проверки электрооборудования на термическую стойкость» [12]:

$$W_k = I_{\text{п},0}^2 \cdot (t_{\text{п.з.}} + t_{\text{о.в.}} + T_a), \quad (99)$$

где $t_{\text{п.з.}}$ – время срабатывания МТЗ, с;

$t_{\text{о.в.}}$ – «полное время отключения выключателя, с» [12];

T_a – «время протекания апериодической составляющей ТКЗ, с» [12].

$$B_k = 9,1^2 \cdot (1,7 + 0,06 + 0,12) = 154,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

«Условия выбора оборудования и каталожные данные ячеек КРУ [8] представлены в таблице 9» [12].

Таблица 9 – Выбор КРУ

Расчетные параметры электросети	Паспортные данные К–104М
$U_{уст} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10,5 \text{ кВ}$
$I_{max} = 962,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$i_y = 24,4 \text{ кА}$	$i_{д} = 81,0 \text{ кА}$
$B_k = 154,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Соединение силовых трансформаторов с вводными ячейками РУ 10 кВ выполняются токопроводами ТЗК-10-1600-81УХЛЗ [9].

«Выбор выключателей КРУ.

Подробный выбор выключателей во вводных ячейках КРУ приведен в таблице 10. Секционный выключатель необходимо принимать аналогичный вводному» [12].

В шкафах КРУ марки К–104М должны быть установлены вакуумные выключатели ВВЭ–10–20/1000 УЗ [3].

Таблица 10 – Характеристики выключателей во вводных ячейках КРУ

Расчетные параметры электросети	Паспортные данные ВВЭ–10–20/1000 УЗ
$U_{уст} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10,5 \text{ кВ}$
$I_{max} = 962,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000,0 \text{ А}$
$I_{п,0} = 9,1 \text{ кА}$	$I_{ном.отк} = 20,0 \text{ кА}$
$i_{а,т} = 3,4 \text{ кА}$	$i_{а,ном.} = 14,0 \text{ кА}$
$I_{п,0} = 9,1 \text{ кА}$	$I_{дин.} = 20,0 \text{ кА}$
$i_y = 24,4 \text{ кА}$	$i_{дин} = 81,0 \text{ кА}$
$B_k = 154,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

В линейных КРУ для защиты отходящих линий устанавливаются выключатели ВВЭ–10–20/630 У3 [3].

Выбор ТТ в шкафах КРУ.

В шкафах КРУ марки К–104М устанавливают ТТ марки «ТЛК–10–1000–0,5/10Р–У3. ТТ в цепи секционных выключателей принимается того же типа. Условия выбора, расчетные параметры электросети и паспортные данные ТТ во вводных ячейках КРУ приведены в таблице 11» [6].

Таблица 11 – Характеристики трансформаторов тока во вводных ячейках

Расчетные параметры электросети	Паспортные данные ТЛК–10–1000–0,5/10Р–У3
$U_{уст} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 962,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$i_y = 24,4 \text{ кА}$	$i_{дин} = 81,0 \text{ кА}$
$B_k = 154,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Во вводных ячейках КРУ установлены КИП: «амперметр Э–335, ваттметр Д–335, счетчики активной и реактивной энергии СЭТ4» [7], максимальная нагрузка на фазу будет составлять 1,1 ВА.

В КРУ отходящих линий также «устанавливаются трансформаторы тока типа ТЛК–10.

Трансформаторы напряжения предназначены для преобразования высокого напряжения в низкое, которое может быть использовано для измерения» [12], учета и контроля электроэнергии. Они также используются для обеспечения изоляции между измерительными цепями и высоким напряжением в системе электроснабжения. «ТН устанавливают один на каждую секцию СШ. Во вторичную обмотку ТН включают катушки напряжения КИП всех присоединений этой секции и СШ» [12].

«ТН выбирается по конструкции и схеме соединения обмоток, по классу точности, а также по напряжению» [12]:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}} \cdot \quad (100)$$

«В ячейках типа К–104М к установке принимается трансформатор напряжения типа НАЛИ–СЭЦ–10, так как данный трансформатор напряжения обладает некоторыми преимуществами перед аналогичными антирезонансными ТН» [25].

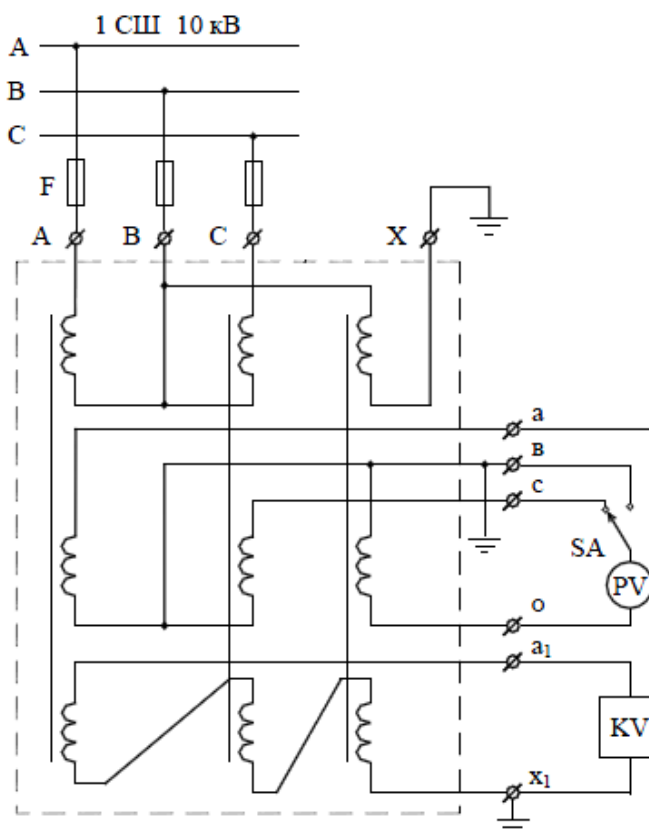


Рисунок 5 – Схема подключения ТН

«Чтобы ТН работал в требуемом классе точности, необходимо, чтобы выполнялось условие» [12]:

$$S_{2\text{ном}} \geq S_{\text{нагр}} ; \quad (101)$$

где $S_{\text{нагр}}$ – «мощность всех КИП и реле, которые присоединены к ТН, ВА» [12];

$S_{2\text{ном}}$ – «номинальная мощность вторичной обмотки ТН в

требуемом классе точности, ВА» [12].

ТН присоединяется к СШ через высоковольтный предохранитель «ПКН001–10У3и втычной разъединитель. Схема включения» [12] ТН – «Ун – Ун – разомкнутый Δ» показана на рисунке 5.

Проверка высоковольтных напряжением на термическую стойкость к ТКЗ.

«Высоковольтные кабели проверяют на термическую стойкость к ТКЗ» [12]. Карта селективности приведена на рисунке 6.

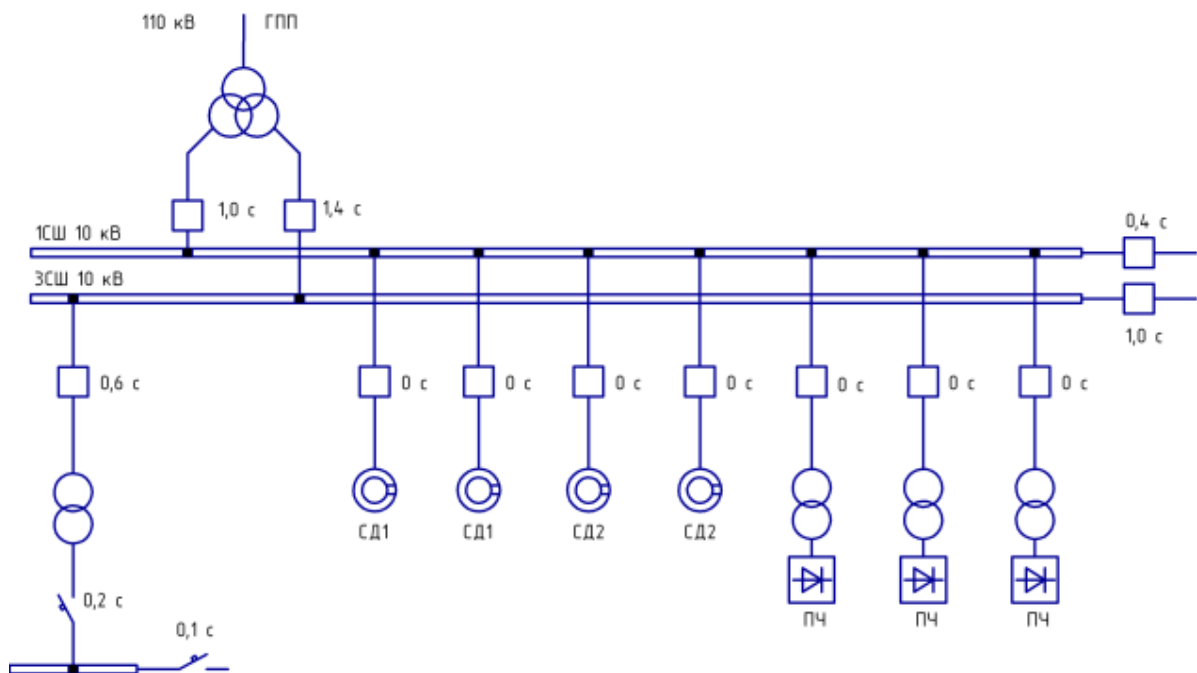


Рисунок 6 – Карта селективности

«Термически стойкое сечение определяется по формуле» [12]:

$$F_{т.с.} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (102)$$

где C – коэффициент, $\frac{A \cdot c^{1/2}}{мм^2}$;

B_k – «тепловой импульс тока КЗ, $кА^2 \cdot с$ » [12].

$$F_{\text{т.с.}}^{\text{ТП}} = \frac{\sqrt{64,3 \cdot 10^6}}{65} = 123 \text{ мм}^2.$$

«Результаты расчетов термически стойких сечений представлены в таблице 12» [12].

Таблица 12 – Проверка высоковольтных кабелей на термическую стойкость к ТКЗ

Кабельная линия	I_k , кА	$t_{\text{р.з.}}$, с	$t_{\text{о.в.}}$, с	T_a , с	B_k , кА ² ·с	C , $\frac{\text{А} \cdot \text{с}^{1/2}}{\text{мм}^2}$	$F_{\text{т.с.}}$, мм ²
ГПП – ТП	9,1	0,6	0,06	0,12	64,3	65	123
ГПП – ПЧ	9,1	0,4	0,06	0,12	89,0	65	145
ГПП – СД	9,1	0,0	0,06	0,12	14,8	65	59

«Таким образом, для всех кабельных линий от ГПП до» [12] цеховых ТП и преобразователей частоты принимаются кабели АПвПу–10 (3х150), а для кабелей от ГПП завода до синхронных двигателей принимаются кабели АПвПу–10 (3х70).

Выбор ТСН.

Трансформаторы собственных нужд используются для обеспечения электроэнергией оборудования, необходимого для работы подстанции, такого как системы охлаждения, вентиляции, освещения и других вспомогательных систем. «Мощность ТСН, принимаем равной 0,1% от мощности силового трансформатора на ГПП завода» [12]:

$$S_{\text{тсн}} = \frac{0,1}{100} \cdot S_{\text{н.т.}}^{\text{ГПП}}, \quad (103)$$

$$S_{\text{тсн}} = \frac{0,1}{100} \cdot 25000 = 25 \text{ кВА.}$$

«Исходя из условия питания вспомогательных механизмов завода, выбирается два силовых трансформатора ТМ–25/10, которые необходимо

подключить к обмотке НН трансформаторов ГПП через предохранители марки ПКТ–101–10–16–12,5» [12].

Выбор автоматов РУ НН ТП.

«Выбранные ЦТП укомплектованы автоматическими выключателями серии «Электрон» производства завода «Контактор» г. Ульяновск» [1].

Выводы по разделу восемь.

В восьмом разделе ВКР выбрана коммутационно–защитная аппаратура системы электроснабжения предприятия. Учтены требования надежности, безопасности и экономичности, а также особенности технологического процесса завода. РУ 10 кВ выполнено комплектным со шкафами типа К–104М с выключателем ВВЭ–10У, трансформаторами тока ТЛК. Приняты трансформаторы напряжения НАЛИ–СЭЩ–10, которые подключаются к СШ через предохранитель типа ПКН001–10У3. Для питания СН ГПП установлены два ТСН ТМ–25/10. Выбраны вводные и секционные автоматы РУ НН ТП серии «Электрон».

9 Молниезащита ГПП предприятия

Молниезащита является неотъемлемой частью любой системы электроснабжения промышленного предприятия, так как она обеспечивает защиту оборудования от повреждений, вызванных прямыми ударами молнии. Главная понизительная подстанция (ГПП) предприятия является одним из ключевых элементов системы электроснабжения, и ее молниезащита должна быть спроектирована и реализована с особой тщательностью и учетом всех необходимых требований и норм.

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы по проектированию системы электроснабжения предприятия необходимо разработать проект молниезащиты для ГПП. Проект должен включать в себя определение требуемых параметров молниеотводов, выбор типов и количества молниеприемников, токоотводов и заземлителей, а также расчет зон защиты молниеотводов. Кроме того, необходимо провести анализ влияния молниезащиты на работу электрического оборудования, а также оценить экономическую эффективность и экологическую безопасность предложенного решения.

«Молниезащита ОРУ – 110 кВ выполняется молниеотводами, установленными на порталах, а ЗРУ – 10 кВ, молниеотводами, установленными на здании ЗРУ» [22].

«Зона защиты четырех стержневых молниеотводов определяется следующим образом» [22]:

$$r_x = h_a \cdot \left[1,6 / \left(1 + (h_x / h) \cdot p \right) \right], \quad (104)$$

где r_x – «радиус защиты молниеотвода» [22], м;

h_a – «активная высота молниеотвода» [22], м;

h_x – «высота самых высоких элементов ОРУ» [22], м;

h – «высота молниеотвода» [22], м.

$$h_a = h - h_x, \quad (105)$$

где p – «коэффициент, который равен единице при высоте молниеотвода $h < 30$ м» [22].

«Наименьшая ширина зоны защиты b_x определяется как» [22]:

$$b_x = 4 \cdot r_x \cdot [(7 \cdot h_a - a) / (14 \cdot h_a - a)], \quad (106)$$

где a – «расстояние между молниеотводами, м» [22].

«Объект высотой h_x внутри зоны защиты будет защищён, если выполняется условие» [22]:

$$D \leq 8 \cdot h_a \cdot p, \quad (107)$$

где D – «наибольшая диагональ четырёхугольника, м» [22].

«Зона защиты молниеотводов $M_1 - M_4$. Высота $h = 19$ м. Активная высота $h_a = 8$ м. Высота самых высоких элементов ОРУ $h_x = 11$ м» [22].

$$r_x = (19 - 11) \cdot [1,6 / (1 + 11 / 19) \cdot 1] = 8,11 \text{ м},$$

$$b_x^I = 4 \cdot 8,11 \cdot [(7 \cdot 8 - 21) / (14 \cdot 8 - 21)] = 12,48 \text{ м};$$

$$b_x^I / 2 = 6,24 \text{ м};$$

$$b_x^{II} = 4 \cdot 8,11 \cdot [(7 \cdot 8 - 43,5) / (14 \cdot 8 - 43,5)] = 5,92 \text{ м};$$

$$b_x^{II} / 2 = 2,96 \text{ м}.$$

Проверяется условие (107):

$$D_1 \leq 8 \cdot 8 \cdot 1 = 64 \text{ м},$$

$$D_1 = \sqrt{21^2 + 43,5^2} = 48,3 \text{ м} < 64 \text{ м} - \text{условие выполняется.}$$

«Зона защиты молниеотводов M_5 и M_6 по (104), (105) и (106). Высота $h = 17$ м. Активная высота $h_a = 12$ м. Высота самых высоких элементов ЗРУ $h_x = 5$ м» [22].

$$r_{x_1} = (17 - 5) \cdot \left[1,6 / (1 + (5 / 17) \cdot 1) \right] = 14,84 \text{ м};$$

$$b_{x_1} = 4 \cdot 14,84 \cdot \left[(7 \cdot 12 - 30) / (14 \cdot 12 - 30) \right] = 23,22 \text{ м};$$

$$b_{x_1} / 2 = 11,61 \text{ м};$$

$$b_{x_1} = 4 \cdot 14,84 \cdot \left[(7 \cdot 12 - 6) / (14 \cdot 12 - 6) \right] = 28,58 \text{ м};$$

$$b_{x_1} / 2 = 14,29 \text{ м}.$$

Проверяется условие (107):

$$D_2 \leq 8 \cdot 12 \cdot 1 = 96 \text{ м},$$

$$D_2 = \sqrt{30^2 + 6^2} = 30,6 \text{ м} < 96 \text{ м},$$

условие выполняется.

«Исходя из проведенных расчетов определено, что ГПП на высоте h_x полностью защищена от прямых ударов молнии. Схема молниезащиты ГПП завода металлических конструкций показана на рисунке 7» [22].

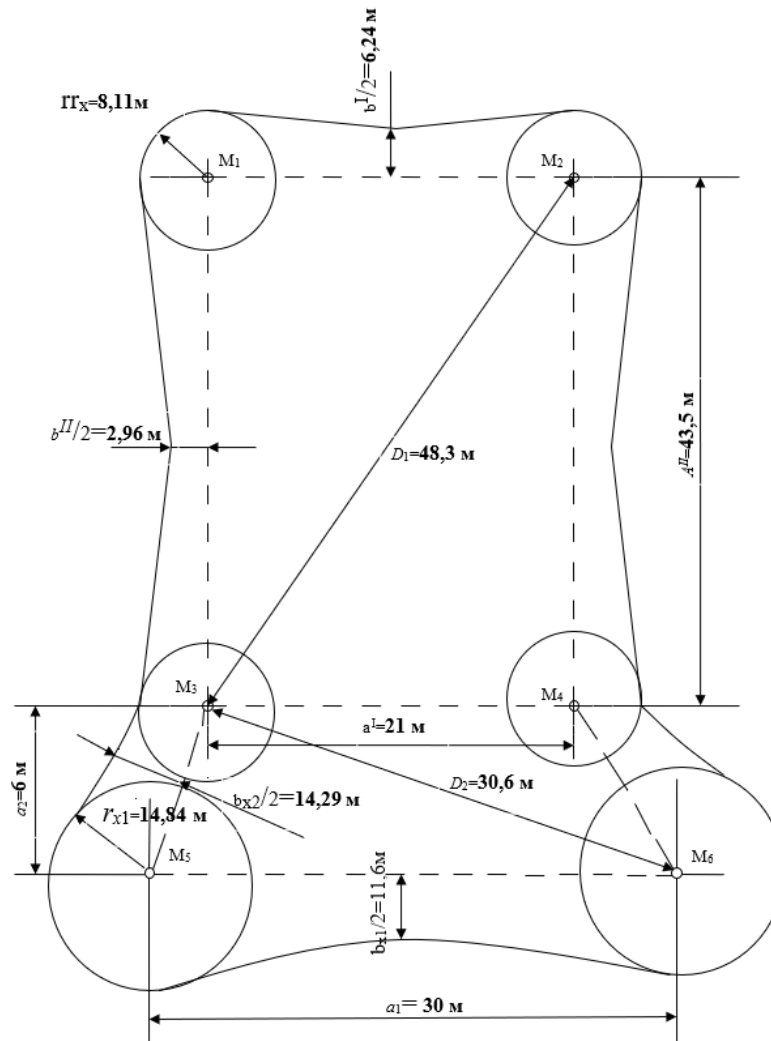


Рисунок 7 – Молниезащита ГПП

Выводы по разделу девять.

В девятом разделе ВКР рассчитана система молниезащиты ГПП предприятия. В результате проведенных расчетов молниезащиты главной понизительной подстанции (ГПП) завода металлических конструкций было установлено, что предложенная система молниезащиты полностью удовлетворяет требованиям нормативных документов и обеспечивает надежную защиту оборудования подстанции от прямых ударов молнии. Были определены необходимые параметры молниеотводов и выбраны соответствующие типы и количество молниеприемников и токоотводов. Также были рассчитаны зоны защиты молниеотводов, которые охватывают все наиболее важные элементы подстанции.

Заключение

В ходе выполнения данной ВКР была разработана система электроснабжения завода металлических конструкций, которая обеспечивает надежное и качественное энергоснабжение всех потребителей.

Приведена краткая характеристика завода металлических конструкций. Осуществлен расчет нагрузок по заводу металлических конструкций. Кроме того, выбран символический ЦЭН, а также определено месторасположение ГПП завода металлических конструкций. При выборе месторасположения ГПП, кроме расположения ЦЭН были учтены: площадь, которая необходима для размещения ГПП; ландшафт местности и прочее. С учетом данных факторов, приняты координаты размещения ГПП предприятия: $x_{ГПП} = 508$ м; $y_{ГПП} = 384$ м.

Выбрано количество и мощности трансформаторов на ЦТП предприятия. Питание ряда цехов выбрано от низковольтных распределительных пунктов.

Принята схема внешнего электроснабжения на напряжение 110 кВ с установкой на ГПП двух силовых трансформаторов ТРДН–25000/110/10/10. В результате проведенного расчета токов короткого замыкания сети 110 кВ были определены значения токов в различных точках сети, что позволило выбрать коммутационные и измерительные аппараты с соответствующими параметрами. Были выбраны выключатели, разъединители и трансформаторы тока, обеспечивающие надежную работу СЭС предприятия.

Таким образом, в данном разделе были выполнены все необходимые расчеты и выбран оптимальный вариант оборудования для обеспечения надежной и безопасной работы системы внешнего электроснабжения предприятия.

Для защиты оборудования ГПП предприятия от перенапряжений устанавливаются ОПН–110/56 и ОПН–110/88. Питающая линия предприятия выполнена проводами АС–70/11. Кабельные линии распределительной сети

выбраны кабелем АПвПу–10 и ААПл–1. Рассчитаны токи короткого замыкания в расчетных точках системы электроснабжения. Выбрана коммутационно–защитная аппаратура системы электроснабжения предприятия. РУ 10 кВ выполнено комплектным со шкафами типа К–104М с выключателем ВВЭ–10У, трансформаторами тока ТЛК. Приняты трансформаторы напряжения НАЛИ–СЭЩ–10. Для питания СН ГПП установлены два ТСН ТМ–25/10. Выбраны вводные и секционные автоматы РУ НН ТП серии «Электрон».

Рассчитана молниезащита ГПП предприятия. В результате проведенных расчетов молниезащиты главной понизительной подстанции (ГПП) завода металлических конструкций было установлено, что предложенная система молниезащиты полностью удовлетворяет требованиям нормативных документов и обеспечивает надежную защиту оборудования подстанции от прямых ударов молнии. Определены необходимые параметры молниеотводов и выбраны соответствующие типы и количество молниеприемников и токоотводов. Также были рассчитаны зоны защиты молниеотводов, которые охватывают все наиболее важные элементы подстанции.

Разработанная система электроснабжения обладает высокой степенью адаптивности и позволяет оперативно реагировать на изменения производственных процессов. Это обеспечивает возможность модернизации и расширения производственных мощностей завода без существенных капитальных затрат на реконструкцию системы электроснабжения.

Таким образом, в ходе выполнения данной работы были решены все поставленные задачи, что подтверждает достижение цели работы – разработка проекта СЭС для завода металлических конструкций. Результаты данной работы могут быть использованы при реализации проекта системы электроснабжения в реальных условиях и позволят обеспечить повышение производительности и конкурентоспособности завода на рынке металлических конструкций.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Автоматические выключатели серия «Электрон». URL: http://www.kontak-tor.ru/auto_breakers/detail_page.php?ID=201 (дата обращения: 04.11.2023).
2. Анчарова Т.В., Стебунова Е.Д., Рашевская М.А. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. 416 с.
3. Вакуумные выключатели типа ВВЭ. URL: <http://www.konstalin.ru/?star-tid=3&id=161> (дата обращения: 04.11.2023).
4. Выключатель элегазовый баковый на напряжение 110 кВ типа ВЭБ–110. URL: http://www.uetm.ru/files/katalog_VEB-11.pdf (дата обращения: 04.11.2023).
5. Ершов А.М. Системы электроснабжения. Часть 4: Электроснабжение промышленных предприятий и городов : курс лекций. 2-е изд., перераб. и доп. Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2017. 187 с.
6. Измерительные трансформаторы тока на различные классы напряжений. URL: http://www.cztt.ru/transformator_toka.html (дата обращения: 04.11.2023).
7. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий : учебное пособие. М. : КноРус, 2013. 368 с.
8. Комплектные распределительные устройства внутренней установки 6–10 кВ. URL: http://www.moselectro-yug.ru/prod/pdf/2_kru2006.pdf (дата обращения: 04.11.2023).
9. Комплектные токопроводы и шинопроводы. URL: http://www.moselectro-yug.ru/prod/pdf/3_compl_tokopr_shinoprov2007.pdf (дата обращения: 04.11.2023).
10. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов : учебное пособие для среднего профессионального образования. М. : ИЦ Академия, 2013. 320 с.

11. Кудрин Б.И. Электроснабжение : учебник. М. : Издательский центр «Академия», 2012. 352 с.
12. Кудрин Б.И., Жилин Б.В., Матюнина Ю.В. Электроснабжение потребителей и режимы : учебное пособие. М. : МЭИ , 2013. 412 с.
13. Ограничители перенапряжения нелинейные. URL: http://www.uik.ru/net-cat_files/696/638/h_4d82627dfea00289f4895db29b4c87fe (дата обращения: 04.11.2023).
14. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов : учебное пособие. М. : Форум, 2018. 350 с.
15. Петров О.А. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие для студентов–заочников. Челябинск: ЧПИ, 1986. 49 с.
16. Правила устройства электроустановок. 7–е изд., перераб. и доп. // Консультант плюс: справочно–правовая система
17. Разъединители серии РГ на напряжение 35 – 500 кВ. URL: http://www.ues.su/product_img/razyed/rg35/ues_zeto_catalog_rg35.pdf (дата обращения: 04.11.2023).
18. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования // Консультант плюс: справочно–правовая система
19. Рожков Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций : учебник для ВУЗов. М. : Энергоатомиздат, 2007. 442 с.
20. РТМ 36.18.32.4–92. Указания по расчету электрических нагрузок. // Консультант плюс: справочно–правовая система
21. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. М. : Радио и связь, 2012. 328 с.
22. СО 153–34.21.122–2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций // Консультант плюс: справочно–правовая система
23. Степанов В. М., Косырихин В. С. Расчёт и проектирование электрических сетей и систем. ТулГУ. Тула : Изд-во ТулГУ, 2014. 351 с.

24. Степанов В. М., Косырихин В. С. Системы электроснабжения промышленных предприятий : учебно-методическое пособие. Тула : Изд-во ТулГУ, 2013. 368 с.
25. Трансформаторы напряжения НАЛИ–СЭЩ–10–1У2. URL: http://www.electroshield.ru/izmeritelnye_transformatory_nali (дата обращения: 04.11.2023)
26. Трансформаторы напряжения типа ЗНОГ–110. <http://www.vit.zp.ua> (дата обращения: 04.11.2023)
27. Фролов Ю. М. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие для вузов. М. : Издательство Юрайт, 2023. 351 с.
28. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях : учебное пособие. М. : Форум, 2016. 208 с.
29. Biegelmeier G. Electro supply system. – Bulletin. Int. Sek IVSS Verhüt Arbeitsall und Berufskrankh Elek, 2017. 428 p.
30. Brian R. Gosselin. Electrical Systems for Industrial Facilities. Hoboken : Wiley, 2019. 384 p.
31. J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Overbye T. Power System Analysis and Design. Boston : Cengage Learning, 2018. 960 p.
32. Mohamed E. El-Hawary. Electrical Power Systems: Design and Analysis. Boca Raton : CRC Press, 2018. 720 p.
33. Steven W. Blume. Electric Power System Basics for the Nonelectrical Professional. Hoboken : Wiley–IEEE Press, 2017. 256 p.