

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 металлоконструкций

Студент

И.И. Воронцов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н, доцент А.Н. Черненко

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

Тольятти 2021

Аннотация

Выпускная квалификационная работа выполнена по теме «Проектирование системы электроснабжения завода металлоконструкций».

В ходе выпускной квалификационной работы:

- проанализирован завод металлоконструкций, определена среда производственных помещений и выбрана категория электроснабжения;
- Произведен расчет электрических нагрузок потребителей и осветительной сети;
- рассчитаны координаты центра электрических нагрузок и определено место расположения ГПП;
- цехи с небольшой нагрузкой были объединены в группы, и для каждой группы цехов был рассчитан и выбран трансформатор и компенсирующая установка;
- определены потери мощности в цеховых трансформаторах;
- выбран тип и число трансформаторов ГПП, определены потери мощности в трансформаторах ГПП;
- выполнен расчет питающей линии ГПП;
- рассчитана распределительная сеть завода металлоконструкций, рассчитаны сечения и выбраны марки кабелей 10 кВ и 0,4 кВ;
- произведен расчет токов короткого замыкания;
- выбрано и проверено на устойчивость к токам короткого замыкания оборудование на стороне 10 кВ ГПП;
- выполнен расчет заземляющего устройства.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом 66 страниц, в которой также содержатся 16 таблиц, 3 рисунка на формате А4 и 6 рисунков на формате А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика предприятия.....	5
1.1 Техническое задание на проектирование завода металлоконструкций.....	5
1.2 Краткая характеристика завода.....	10
2 Расчет электрических нагрузок Определение центра электрических нагрузок и выбор места расположения ГПП.....	14
2.1 Расчет нагрузок потребителей.....	14
2.2 Расчет электрических нагрузок осветительной сети.....	30
2.3 Определение местоположения ГПП.....	32
3 Система внутреннего электроснабжения.....	35
3.1 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций. Выбор компенсирующих установок.....	35
3.2 Определение потерь мощности в цеховых трансформаторах.....	41
3.3 Расчет распределительной сети предприятия.....	42
4. Система внешнего электроснабжения.....	48
4.1 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП. Определение потерь мощности трансформаторов ГПП.....	48
4.2 Расчет питающей линии до ГПП.....	50
5 Расчет токов короткого замыкания. Выбор электрооборудования на стороне 10 кВ ГПП. Расчет заземления подстанции.....	52
5.1 Расчет токов короткого замыкания.....	53
5.2 Выбор и проверка оборудования на стороне 10 кВ ГПП.....	49
5.3 Расчет заземления подстанции.....	59
Заключение.....	63
Список используемых источников.....	64

Введение

«Электроустановки современных промышленных предприятий представляют собой сложные системы, предъявляющие повышенные требования к надежности электроснабжения, что в свою очередь потребовало автоматизации работы отдельных элементов сетей.

В этих условиях принципиально важно, чтобы в проектах электроснабжения и электрооборудования цехов принимались решения, отвечающие требованиям электробезопасности, наименьших затрат на их сооружение и удобства эксплуатации и надежности работы» [10].

В ходе выпускной квалификационной работы необходимо спроектировать надежную, энергоэффективную и, немаловажно, безопасную систему электроснабжения завода металлоконструкций.

Чтобы достигнуть поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать предприятие по техническому заданию, определить категорию электроснабжения и среду производственных помещений;
- рассчитать электрические нагрузки для каждого потребителя и предприятия в целом;
- провести выбор трансформаторов на цеховых трансформаторных подстанциях и ГПП;
- произвести расчет реактивной мощности и выбрать тип и мощность компенсирующей установки;
- произвести расчет распределительной сети предприятия и питания до ГПП, выбрать марку и сечение проводов;
- рассчитать токи короткого замыкания; выбрать электрооборудование на стороне 10 кВ ГПП;
- произвести расчет заземляющего устройства.

1 Характеристика предприятия

1.1 Техническое задание на проектирование системы электроснабжения завода металлоконструкций

В выпускной квалификационной работе производится расчет системы электроснабжения завода металлоконструкций.

Перечень электроприёмников завода приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика электроприемников завода металлоконструкций по установленной мощности

Наименование цехов и электропотребителей	Число оборудования, шт.	Установленная мощность, кВт	
		Одного приемника	Общая
Кислородная станция:			
- Насос низкого давления Esra FN 40-65-55B	8	35	280
- Вспом. оборудование	3	11	33
	2	11	22
Итого по станции			335
Склад химических реактивов:			
-Кран-балка «РостСтрой 423»	1	7	7
- Тельфер «DENZEL TF-250»	5	4,5	27
- Ленточный конвейер типа «ЛК-П»	6	3,2	16
- Холодильная установка MPR-S313-PE	1	10	10
- Вспом. оборудование	2	2,5	5
Итого по складу:			65
Насосная станция:			
- Насосы низкого давления Esra FN 40-65-55B	4	45	180
- Вспом. оборудование	2	10	20
	1	20	20
	4	20	80
Итого по станции:			300

Продолжение таблицы 1

Наименование цехов и электропотребителей	Число оборудования, шт.	Установленная мощность, кВт	
		Одного приемника	Общая
Склад готовой продукции (металла):			
- Электропривод ворот «DoorHun 1300 pro»	2	15	30
- Кран-балка «РостСтрой 423»	4	10	40
- Тельфер «DENZEL TF-250»	5	5	25
- Ленточный конвейер типа «ЛК-П»	10	15	150
- Вспом. оборудование	10	32,5	325
Итого по складу:	2	2,5	5
Склад:			575
- Электропривод ворот «DoorHun 1300 pro»	2	15	30
- Кран-балка «РостСтрой 423»	3	12,5	37,5
- Тельфер «DENZEL TF-250»	2	5	10
- Ленточный конвейер типа «ЛК-П»	3	10	30
- Вспом. оборудование	2	30	60
Итого по складу:	5	2,5	12,5
Компрессорная станция:			180
- Насос низкого давления «Esra FN 40-65-55B»	24	20	480
- Компрессор «DENAIR 7/300»	16	25	400
- Кран-балка «РостСтрой 423»	2	30	60
- Тельфер «DENZEL TF-250»	2	15	30
- Вспом. оборудование	7	11	77
Итого по станции:	2	11,5	23
			1070

Продолжение таблицы 1

Наименование цехов и электропотребителей	Число оборудования, шт.	Установленная мощность, кВт	
		Одного приемника	Общая
Маляропокрасочный цех:			
- Ленточный конвейер типа «ЛК-П»	4	30	120
- Компрессор «DENAIR 7/300»	20	25	500
- Вытяжная вентиляция	9	15	135
- Приточная вентиляция	9	15	135
- ЭД шлифовальных станков	14	50	700
- ЭД сверлильных станков	7	50	350
- ЭД очистных барабанов	4	45	180
- Пескоструйные машины	4	35	140
- Сушильные камеры	6	65	390
- ЭД смесительной установки	1	100	100
- Вспом. Оборудование	20	12,5	250
	15	5	75
Итого по цеху:			3075
Цех опор ЛЭП:			
- Электропривод ворот «DoorHun 1300 pro»	2	15	30
- Кран-балка «РостСтрой 423»	10	18,5	185
- Тельфер «DENZEL TF-250»	7	18,5	130
- Ленточный конвейер типа «ЛК-П»	15	30	450
- ЭД металлообрабатывающих станков	5	15	75
	24	30	720
	25	25	625
	15	22	330
	12	20	240
	10	25	250
	15	37	555
- Сварочные трансформаторы дуговой сварки	20	150	3000
- Гальванические ванны	8	20	160
- Вентиляционное оборудование	10	20	200
- Ручной переносной электроинструмент	20	1,5	30
Итого по цеху:			7000

Продолжение таблицы 1

Наименование цехов и электропотребителей	Число оборудования, шт.	Установленная мощность, кВт	
		Одного приемника	Общая
Сварочный цех №1:			
- Сварочные трансформаторы дуговой сварки	23	100	2300
- Сварочные трансформаторы контактной сварки	24	100	2400
- ЭД металлообрабатывающих станков	10	30	300
	11	20	220
	11	25	275
	15	20	300
	5	10	50
	5	14	70
- ЭД. Ножниц	7	15	105
- ЭД гильотинных плит	4	30	120
- ЭД гибочных прессов	5	35	175
- Приточная вентиляция	9	15	135
- Вытяжная вентиляция	9	15	135
- ЭД тельферов	4	18,5	74
- ЭД кран-балок	6	18,5	111
- ЭД кранов	5	10	50
Итого по цеху:			6820
Сварочный цех №2:			
- Сварочные трансформаторы дуговой сварки	21	100	2100
- Сварочные трансформаторы контактной сварки	20	100	2000
- ЭД металлообрабатывающих станков	9	30	270
	9	20	180
	9	25	225
	11	20	220
	5	10	50
	5	14	70
- ЭД. Ножниц	7	15	105
- Гильотинные плиты	4	30	120
- Гибочный пресс	5	35	175
- Приточная вентиляция	9	15	135
- Вытяжная вентиляция	9	15	135
- ЭД тельферов	4	18,5	74
- ЭД кран-балок	6	18,5	111
- ЭД кранов	5	10	50
Итого по цеху:			6020

Продолжение таблицы 1

Наименование цехов и электропотребителей	Число оборудования, шт.	Установленная мощность, кВт	
		Одного приемника	Общая
Заготовительный цех:			
- ЭД привода ворот	2	15	30
- ЭД кранов	13	10	130
- ЭД кран-балок	10	18,5	185
- ЭД тельферов	10	18,5	185
- ЭД конвейеров	9	30	270
- ЭД транспортеров	10	15	150
- ЭД металлообрабатывающих станков	8	30	240
	21	25	525
	20	22	440
	22	20	440
	24	25	600
- Электроды сопротивления	30	25	750
- Вентиляционное оборудование	30	30	900
- ЭД. Ножниц	10	20	200
- ЭД гильотинные плиты	22	15	330
- ЭД гибочный пресс	6	30	180
- ЭД очистных барабанов	12	35	420
- Гальванические ванны	20	45	900
- Сварочные трансформаторы дуговой сварки	16	20	320
- Ручной переносной электроинструмент	15	100	1500
	20	1,5	30
Итого по цеху			8725
Гараж			
- ЭД привода ворот	2	15	30
- Зарядные агрегаты аккумуляторов	6	3,5	21
- ЭД кран-балок	1	10	10
- Ручной переносной электроинструмент	10	1,5	15
Итого по гаражу:			76

Продолжение таблицы 1

Наименование цехов и электропотребителей	Число оборудования, шт.	Установленная мощность, кВт	
		Одного приемника	Общая
Ремонтно-механический цех:			
- ЭД привода ворот	6	5	30
- ЭД кран балок	2	10	20
- ЭД металлообрабатывающих станков	5	8	40
	5	5	25
	5	5	25
	6	9	54
	5	7	35
- Сварочные трансформаторы дуговой сварки	4	15	60
- Ручной переносной электроинструмент	10	1,5	15
Итого по цеху:			304
Теплица			
- Нагревательный прибор	1	20	20
- Сушильные камеры	4	5	20
Итого в теплице:			40
Теплопункт:			
- ЭД насосов	3	25	75
- Вспом. оборудование	1	11	11
	2	4,5	9
Итого в теплопункте:			95
Заводоуправление:			
- Компьютерное оборудование	50	2,5	125
- Оборудование для административной связи	40	0,5	20
- Электрооборудование АСУ	25	2	50
- ЭД вытяжной вентиляции	1	15	15
- ЭД приточной вентиляции	1	15	15
- Кондиционеры	10	6	60
Итого по заводууправлению			285
Склад ремонтно-механического цеха:			
- ЭД привода открывания ворот	2	15	30
- ЭД тельферов	3	11	33
- ЭД кран-балок	4	18,5	74
- ЭД кранов	4	10	40
- ЭД транспортеров	4	4,5	18
- Вспом. оборудование	1	5	5
Итого по складу:			200

Продолжение таблицы 1

Наименование цехов и электропотребителей	Число оборудования, шт.	Установленная мощность, кВт.	
		Одного приемника	Общая
Итого по заводу НН			35130
Электроприемники 6-10 кВ			
1. кислородная станция			
СД типа СДТ-630	4	630	2520
Итого по заводу ВН			2520
Итого по заводу			37650

1.2 Краткая характеристика завода

Рассматриваемый по техническому заданию завод площадью 226800 м² является электропотребителем с установленной мощностью 37650 кВт.

Производства металлоконструкций состоит из нескольких основных технических процессов:

- подготовка металла;
- обработка металла;
- монтаж готовых деталей в готовые конструкции;
- грунтовка металлоконструкций для дальнейшей покраски;
- покраска.

В рассматриваемом техническом задании для ВКР имеются цеха которые позволяют обеспечить необходимый техпроцесс, также имеются здания содержащие оборудования для подготовки воздуха, складские помещения, административное здание, теплопункт и насосная станция.

На складах разгрузку материалов осуществляют подъемными кранами. Они также позволяют производить транспортировку на производства.

«Материалы подвозятся на склады автомобильным транспортом, на этот же транспорт отгружается готовая продукция.

Данный вид работ производится с помощью подъёмно-транспортного оборудования. Также с помощью этих кранов осуществляется транспортировка конструкций между разными участками и приспособлениями. В случае кривизны металла его подвергают правке.

Далее заготовку режут плазменной кислородной резкой или автоматическими ножницами. Все технологические кромки и отверстия обрабатываются на сверлильных станках различной конструкции» [4].

После получения деталей металлоконструкции отправляется на контрольную сборку, путём сварки. После сварки производится обработка путём снятия материала до требуемого качества поверхностей.

В заключении металлоконструкцию грунтуют и осуществляют покраску в маляропокрасочном цехе. В таблице 2 проанализированы и определены категории электроснабжения для каждого цеха и внутренняя среда помещений. Данные из таблицы 2 потребуются при выборе схемы электроснабжения завода и цехов в отдельности, а также при выборе проводников внутри производственных помещений.

Таблица 2 – Характеристика объектов по категории электроснабжения и среде производственных помещений

Наименование цеха	Площадь, М ²	Категория электроснабжения			Среда помещений
		Мощность, кВт			
		I	II	III	
Кислородная станция	816	335	-	-	Нормальная
Склад химических реактивов	448	65	-	-	Химически активна
Насосная станция	288	300	-	-	Нормальная
Склад готовой продукции	5600	-	-	575	Нормальная
Склад	768	-	-	180	Нормальная
Компрессорная станция	576	3590	-	-	Нормальная
Маляропокрасочный цех	10000	-	3075	-	Жаркая
Цех опор ЛЭП	12000	-	7000	-	Нормальная
Сварочный цех №1	14000	-	6820	-	Нормальная

Продолжение таблицы 2

Наименование цеха	Площадь, М ²	Категория электроснабжения			Среда помещений
		Мощность, кВт			
		I	II	III	
Сварочный цех №2	17760	-	6020	-	Нормальная
Заготовительный цех	14000	-	8725	-	Нормальная
Гараж	160	-	-	76	Нормальная
Ремонтно-механический цех	2880	-	269	-	Нормальная
Теплица	1600	-	-	40	Нормальная
Теплопункт	400	95	-	-	Нормальная
Заводоуправление	960	-	285	-	Нормальная
Склад ремонтно-механического цеха	1120	-	-	200	Нормальная
Итого		4385	32194	1071	

На рисунке 1 приведен генеральный план завода металлоконструкций.

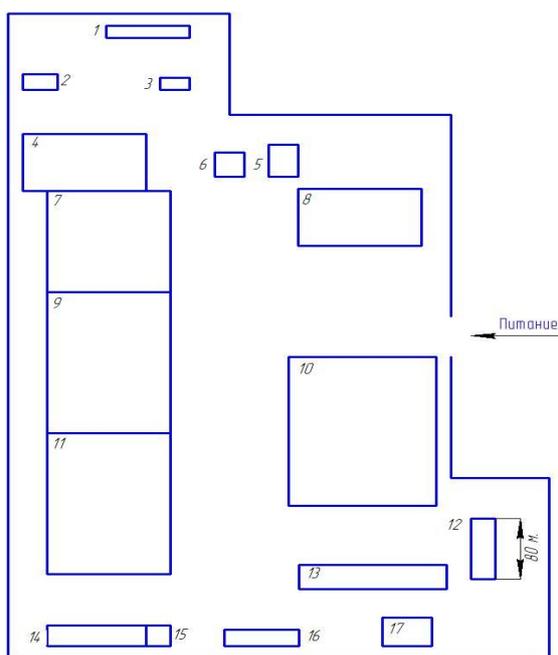


Рисунок 1 – Генеральный план завода металлоконструкций

Вывод: В первой части ВКР приведена краткая характеристика объекта, проанализированы и определены категории электроснабжения для каждого цеха и внутренняя среда помещений, а также приведена характеристика номинальных мощностей по цехам.

2 Расчет электрических нагрузок. Определение центра электрических нагрузок. Выбор места расположения ГПП

2.1 Расчет нагрузок потребителей

Расчет электрических нагрузок выполним на примере холодильной установки, которая располагается на складе химических реактивов.

Среднесменная активная мощность определяется по формуле 1

$$P_{см} = P_{ном} \cdot K_{и}, \quad (1)$$

где – $P_{ном}$ – номинальная мощность установки, кВт;

$K_{и}$ – коэффициент использования, определяется из справочных данных.

$$P_{см} = 10 \cdot 0,65 = 6,5 \text{ кВт}$$

«Среднесменная реактивная мощность» [19]:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\varphi, \quad (2)$$

где – $tg\varphi$ – определяется по $cos\varphi$ потребителя.

$$Q_{см} = 6,5 \cdot 0,75 = 4,9 \text{ квар}$$

Расчетная мощность определяется по формуле 3

$$P_p = P_{см} \cdot K_m, \quad (3)$$

где K_m – коэффициент максимума.

« K_m определяется из справочных данных. Для его нахождения необходимо знать коэффициент использования и количество эффективных электроприемников (n_3).» [14]

$$P_p = 6,5 \cdot 1,29 = 8,4 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная мощность определяется по следующим формулам:

$$\text{Если } n_3 \leq 10; Q_p = 1,1 \cdot P_p, \quad (4)$$

$$\text{Если } n_3 \geq 10; Q_p = 1,1 \cdot P_p, \quad (5)$$

Так как $n_3 = 1$ шт, то воспользуемся формулой 4 для нахождения расчетной активной мощности

$$Q_p = 1,1 \cdot 4,9 = 5,4 \text{ квар}$$

Полная мощность определяется по формуле 6

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (6)$$
$$S_p = \sqrt{8,4^2 + 5,4^2} = 9,9 \text{ кВА.}$$

Таблица 3 – Определение расчетных низковольтных и высоковольтных нагрузок

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Низковольтная нагрузка													
Кислородная станция:													
Насос низкого давления Espa FN 40-65-55B	35	280	8	8	0,7	0,8 0,75	196	147	8	1,2	235,2	161,7	285,42
Вспом. оборудоване	11 11	22 33	2 3	5	1,0	1,0 0	335	0	5	1,04	348,4	0	348,4
Итого по станции:	-	335	-	-	-	-	531	147	-	-	583,6	161,7	605,59
Склад химических реактивов													
Кран-балка «РостСтрой 423»	7	7	1	6	0,1	0,5 1,73	3	6	6	3,04	9,1	6,6	11,24
Тельфер «DENZEL TF-250»	4,5	27	5										
Ленточный конвейер «ЛК-П»	3,2	16	6	6	0,55	0,75 0,88	9	8	6	1,37	12,3	8,8	15,12
Холодильная установка MPR-S313-PE	10	10	1	1	0,65	0,8 0,75	6,5	4,9	1	1,29	8,4	5,4	9,9

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Вспом. оборудование	2,5	5	2	2	1,0	1,0	5	0	2	1,05	5,25	0	5,25
Итого по складу	-	65	-	-	-	-	23,5	18,9	-	-	35,05	20,08	40,39
Насосная станция													
Насос низкого давления Espa FN 40-65-55B	45	180	4	4	0,7	0,8 0,75	126	95	4	1,29	162,5	104,5	193,2
Вспом. оборудование	10 20 20	20 20 80	2 1 4	7	1,0	1,0 0	80	0	7	1,04	83,2	0	83,2
Итого по станции:	-	300	-	-	-	-	206	95	-	-	245,7	104,5	267
Склад готовой продукции (металла)													
Электропривод ворот «DoorgHup 1300 pro»	15	30	2	2	0,55	0,75 0,88	16,5	14,5	2	1,11	18,3	15,9	24,24
Кран-балка «РостСтрой 423» Тельфер «DENZEL TF-250»	10 5	40 25	4 5	19	0,1	0,5 1,73	39	67	14	2,1	81,9	67	105,81
Ленточный конвейер «ЛК-П»	15	150	10	10	0,55	0,75 0,88	83	70	10	1,26	104,5	70	125,78

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Склад													
Вспом. Оборудование	2,5	5	2	2	1,0	1,0 0	5	0	5	1,04	5,2	0	5,2
Итого по складу:	-	575	-	-	-	-	143,5	151,5	-	-	209,9	152,9	259,69
Электропривод ворот «DoorHup 1300 pro»	15	30	2	2	0,55	0,75 0,88	16,5	14,5	2	1,11	18,3	15,9	24,24
Кран-балка «РостСтрой 423»	12,5	37,5	3	7	0,1	0,5 1,73	11	19	14	2,1	23,1	20,9	31,15
Тельфер «DENZEL TF-250»	30	60	2										
Ленточный конвейер «ЛК-П»	10	30	3	3	0,55	0,75 0,88	17	15	3	1,08	18,3	16,5	24,64
Вспом. Оборудование	2,5	12,5	5	5	1,0	1,0 0	12,5	0	5	1,04	5,2	0	5,2
Итого по складу:	-	180	-	-	-	-	57	48,5	-	-	64,9	53,3	83,98
Компрессорная станция													

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ЭД насосов низкого давления	20	480	8	24	0,7	0,8	616	462	24	1,1	677,6	462	820,11
ЭД компрессоров	25	400	16			0,75							
ЭД кран-балок	30	60	2	4	0,1	0,5	9	16	4	3,43	30,87	17,6	35,53
ЭД тельферов	15	30	2			1,73							
Вспом. оборудование	11 11,5	77 23	7 2	10	1,0	1,0 0	100	0	9	1,04	9,36	0	9,36
Итого по станции:	-	1070	-	-	-	-	625	478	-	-	717,83	479,6	863,31
Маляропокрасочный цех													
ЭД ленточных транспортеров	30	120	4	4	0,55	0,75 0,88	66	58	4	1,46	96,4	63,8	115,6
ЭД компрессоров	25	500	20	20	0,7	0,8 0,75	14	10,5	20	1,11	15,5	10,5	18,72
Вытяжная вентиляция	15	135	9	18	0,6	0,8	162	121,5	18	1,16	187,9	121,5	223,76
Приточная вентиляция	15	135	9			0,75							
ЭД шлифовальных станков	50	700	14	21	0,14	0,5	147	254,31	21	1,65	242,5	254,31	351,4
ЭД сверлильных станков	50	350	7			1,73							

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ЭД очистных барабанов	45	180	4	8	0,2	0,5 1,73	64	110,72	8	1,99	127,36	121,79	176,22
Пескоструйные машины	35	140	4										
Сушильные камеры	65	390	6	6	0,75	0,95 0,33	292,5	96,5	6	1,1	321,75	106,1	338,79
ЭД смесительной установки	100	100	1	1	0,7	0,8 0,75	70	52,5	1	1,14	79,8	57,7	98,48
Вспом. оборудование	12,5 5	250 75	20 15	35	0,7	0,7 1,02	227,5	232,05	35	1,09	247,9	232,05	339,56
Итого по цеху:	-	3075	-	-	-	-	1043	936,08	-	-	1319,11	967,75	1636,1
Цех опор ЛЭП													
ЭД привода ворот	15	30	2	2	0,55	0,75 0,88	16,5	14,5	2	1,11	18,3	15,9	24,24
ЭД кранов	10	50	5	5	0,1	0,5 1,73	36,5	63,1	22	1,84	67,1	63,1	92,11
ЭД кран-балок	18,5	185	10	10									
ЭД тельферов	18,5	130	7	7									
ЭД конвейеров	30	450	15	15	0,55	0,75	123,2	108,4	20	1,15	141,68	108,4	178,39
ЭД транспортеров	15	75	5	5		0,88							

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ЭД металлообрабатывающих станков	30	720	24	101	0,14	0,5 1,73	380,8	658,7	-	-	2040	658,7	2143,7
	25	625	25										
	22	330	15										
	20	240	12										
	25	250	10										
	37	555	15										
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	150	3000	20	20	0,3	0,4 2,29	900	2061	20	1,34	1206	2061	2387,9
Гальванические ванны	20	160	8	8	0,6	0,78 0,8	96	76,8	8	1,3	124,8	18,48	126,16
Вентиляционное оборудование	20	200	10	10	0,6	0,8 0,75	120	90	10	1,26	151,2	90	175,96
Ручной переносной электроинструмент	1,5	30	20	20	0,06	0,5 1,73	1,8	3,11	20	1,84	3,3	3,1	4,53
Итого по цеху:	-	7000	-	-	-	-	1674,8	3075,61	-	-	3752,38	3018,7	4815,9
Сварочный цех №1													

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	100	2300	23	47	0,3	0,4 2,29	1410	3228,9	47	1,16	1635,6	3228,9	3619,5
Сварочные трансформаторы контактной сварки	100	2400	24										
ЭД металлообрабатывающих станков	30	300	10	73	0,14	0,5 1,73	226,1	391,1	66	1,22	275,8	391,1	478,6
	20	220	11										
	25	275	11										
	20	300	15										
	10	50	5										
	14	70	5										
	15	105	7										
ЭД ножниц	15	105	7										
ЭД гильотинных плит	30	120	4										
ЭД гибочных прессов	35	175	5										
Приточная вентиляция	15	135	9	18	0,6	0,8 0,75	162	121,5	18	1,16	187,9	121,5	223,76
Вытяжная вентиляция	15	135	9										

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ЭД тельферов	18,5	74	4	15	0,1	0,5	23,5	40,6	-	-	176,25	40,6	180,6
ЭД кран балок	15,5	111	6										
ЭД кранов	10	50	5										
Итого по цеху:	-	6820	-	-	-	-	1821,6	3782,1	-	-	2275,55	3782,1	4413,9
Сварочный цех №2													
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	100	2100	21	41	0,3	0,4 2,29	1230	2816,7	41	1,19	1463,7	2816,7	3174,3
Сварочные трансформаторы контактной сварки	100	2000	20										
ЭД металлообрабатывающих станков	30	270	9	64	0,14	0,5 1,73	198,1	342,71	187	1,21	239,7	342,71	418,22
	20	180	9										
	25	225	9										
	20	220	11										
	10	50	5										
	14	70	5										
ЭД ножниц	15	105	7										
ЭД гильотинных плит	30	120	4										
ЭД гибочных прессов	35	175	5										

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Приточная вентиляция	15	135	9	18	0,6	0,8 0,75	162	121,5	18	1,16	187,9	121,5	223,76
Вытяжная вентиляция	15	135	9										
ЭД тельферов	18,5	74	4	15	0,1	0,5 1,73	23,5	40,6	-	-	176,25	40,6	180,6
ЭД кран балок	18,5	111	6										
ЭД кранов	10	50	5										
Итого по цеху:	-	6020	-	-	-	-	1613,6	3321,51	-	-	2075,45	3321,5 1	3916,6
Заготовительный цех													
ЭД привода ворот	15	30	2	2	0,55	0,75 0,88	16,5	14,5	2	1,11	18,3	15,9	24,24
ЭД кранов	10	130	13	33	0,1	0,5 1,73	50	86,5	-	-	375	86,5	384,84
ЭД кран балок	18,5	185	10										
ЭД тельферов	18,5	185	10										
ЭД конвейеров	30	270	9	19	0,55	0,75 0,88	231	203,28	19	1,15	265,65	203,28	334,50
ЭД транспортеров	15	150	10										
ЭД металлообрабатывающих станков	30 25 22 20 25	240 525 440 440 600	8 21 20 22 24	95	0,14	0,5 1,73	314,3	543,74	-	-	1683,75	543,74	1769,4

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Электropечи сопротивления	25	750	30	30	0,5	0,95 0,33	375	123,75	30	1,16	435	123,75	452,26
Вентиляционное оборудование	30	900	30	30	0,6	0,8 0,75	540	405	30	1,13	610,2	405	732,7
ЭД ножниц	20	200	10	38	0,14	0,5 1,73	99,4	171,9	-	-	532,5	171,9	559,56
ЭД гильотинных плит	15	330	22										
ЭД гибочных прессов	30	180	6										
ЭД очистных барабанов	35	420	12	12	0,2	0,5 1,73	24	41,52	12	1,96	47,04	41,52	62,74
Гальванические ванны	45	900	20	20	0,6	0,78 0,8	540	432	20	1,15	621	432	756,48
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	100	1500	15	15	0,3	0,4 2,29	450	1030,5	15	1,41	634,5	1030,5	1210,17
Ручной переносной электроинструмент	1,5	30	20	20	0,06	0,5 1,73	1,8	3,11	20	1,84	3,31	3,11	4,54
Итого по цеху:	-	8725	-	-	-	-	2642	3055,8	-	-	5226,25	3057,2	6054,7

Гараж

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ЭД привода ворот	15	30	2	2	0,55	0,75 0,88	16,5	14,5	2	1,11	18,3	15,9	24,24
Зарядные агрегаты аккумуляторов	3,5	21	6	6	0,7	0,65 1,17	14,7	17,1	6	1,23	18	18,8	26,03
ЭД кран-балок	10	10	1	1	0,1	0,5 1,73	1	1,73	1	3,43	3,431	1,9	3,92
Ручной переносной электроинструмент	1,5	15	10	10	0,06	0,5 1,73	0,9	1,5	10	2,42	2,1	1,5	2,58
Итого по гаражу:	-	76	-	-	-	-	33,1	34,83	-	-	41,83	38,1	56,58
Ремонтно-механический цех													
ЭД кран-балок	2	20	10	2	0,1	0,5 1,73	1	1,73	1	3,43	3,431	1,9	3,92
ЭД привода ворот	5	30	6	6	0,55	0,75 0,88	16,5	14,5	2	1,11	18,3	15,9	24,24
ЭД металлообрабатывающих станков	8 5 5 9 7	40 25 25 54 35	5 5 5 6 5	26	0,14	0,5 1,73	25,06	43,35	-	-	134,25	43,35	141,07

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	15	75	6	6	0,3	0,4 2,29	22,5	51,52	6	1,88	42,3	51,52	66,66
Ручной переносной электроинструмент	1,5	15	10	10	0,06	0,5 1,73	0,9	1,5	10	2,42	2,1	1,5	2,58
Итого в цехе:	-	269	-	-	-	-	48,46	96,37	-	-	178,65	96,37	202,99
Теплица													
Нагревательный прибор	20	20	1	5	0,75	0,95 0,33	30	10	5	1,12	33,6	11	35,35
Сушильные камеры	5	20	4										
Итого в теплице:	-	40	-	-	-	-	30	10	-	-	33,6	11	35,35
Теплопункт													
ЭД насосов низкого давления	25	75	3	3	0,7	0,8 0,75	52,5	39,37	3	1,29	67,72	43,3	80,38
Вспом. оборудование	11 4,5	11 9	1 2	3	1,0	1,0 0	20	0	-	-	18	0	18
Итого в теплопункте:	-	95	-	-	-	-	72,5	39,37	-	-	85,72	43,3	96,04
Заводуправление													

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Компьютерное оборудование	2,5	125	50	92	0,4	0,7 1,02	78	79,56	92	1,09	85,02	79,56	116,44
Оборудование для административной связи	0,5	20	40										
Электрооборудование АСУ	25	50	2										
ЭД вытяжной вентиляции	15	15	1	12	0,6	0,8 0,75	54	40,5	12	1,23	66,42	40,5	77,79
ЭД приточной вентиляции	15	15	1										
Кондиционеры	6	60	10										
Итого по заводууправлению	-	285	-	-	-	-	132	120,06	-	-	151,44	120,06	193,26
Склад ремонтно-механического цеха													
ЭД привода открывания ворот	15	30	2	2	0,55	0,75 0,88	16,5	14,5	2	1,11	18,3	15,9	24,24
ЭД тельферов	11	33	3	11	0,1	0,5 1,73	14,7	25,4	11	2,24	21,9	25,4	33,54
ЭД кран-балок	18,5	74	4										
ЭД кранов	10	40	4										
ЭД транспортеров	4,5	18	4	4	0,55	0,75 0,88	9,9	8,7	4	1,46	14,4	9,5	17,25

Продолжение таблицы 3

Наименование цехов и групп электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		Количество электроприемников, шт.		Коэффициент использования	Cos φ tg φ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников	Коэффициент максимум	Максимальная мощность		
	Одного P _н кВт	Общая P _н кВт	В группе	Общее			P _{см} кВт	Q _{см} квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Вспом. оборудование	5	5	1	1	1,0	1,0 0	5	0	1	1,05	5,25	0	5,25
Итого по складу:	-	200	-	-	-	-	46,1	48,6	-	-	59,85	50,8	78,5
Итого низковольтной нагрузки:	-	35130	-	-	-	-	10743,16	15459,23	-	-	17056,81	15478,95	23033,29
Высоковольтная нагрузка													
Кислородная станция СДТ-630	630	2520	4	4	0,8	0,9 0,48	2016	1572	4	1,14	2298,2	1729,2	2876,08
Итого высоковольтной нагрузки:	-	2520	-	-	-	-	2016	1572	-	-	2298,2	1729,2	2876,08
Всего по заводу:	-	37650	-	-	-	-	12759,16	17031,23	-	-	19355,01	17208,15	25898,58

2.2 Расчет электрических нагрузок осветительной сети

В качестве примера произведем расчет осветительной нагрузки теплопункта.

По справочным данным и данным завода изготовителя определяем, что: « $P_{уд} = 3,6 \text{ Вт/м}^2$; $K_{co} = 1$; $K_{пра} = 1,2$; $\cos\varphi = 0,75$; $\text{tg}\varphi = 0,88$; $F = 400 \text{ м}^2$ » [5].

«Установленная мощность осветительной нагрузки» [1].

$$P_{y.o} = P_{уд} \cdot F \quad (7)$$

$$P_{y.o} = 0,036 \cdot 400 = 14,4 \text{ кВт}$$

«Расчетная активная нагрузка» [25].

$$P_{p.o} = P_{yo} \cdot K_{co} \cdot K_{пра} \quad (8)$$

$$P_{p.o} = 14,4 \cdot 1 \cdot 1,2 = 17,28 \text{ кВт}$$

«Расчетная активная нагрузка с учетом аварийного освещения» [12].

$$P_{ao} = Z \cdot P_{po}, \quad (9)$$

где Z – коэффициент минимальной освещенности, равный 1.1.

$$P_{ao} = 1,1 \cdot 17,28 = 19 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная нагрузка определяется по формуле 2

$$Q_{po} = 19 \cdot 0,88 = 16,7 \text{ квар}$$

Полная активная нагрузка, включая осветительную нагрузку:

$$\Sigma P_p = 85,72 + 19 = 104,72 \text{ кВт}$$

Полная реактивная нагрузка, включая осветительную нагрузку:

$$\Sigma Q_p = 43,3 + 16,7 = 60 \text{ квар}$$

Полная нагрузка, включая осветительную нагрузку, определяется по формуле 10

$$\Sigma S_p = \sqrt{\Sigma P_p^2 + \Sigma Q_p^2} \quad (10)$$

$$\Sigma S_p = \sqrt{104,72^2 + 60^2} = 120,7 \text{ кВА.}$$

В таблице 4 рассчитана и приведена осветительная нагрузка по предприятию.

Таблица 4 – Осветительная нагрузка завода металлоконструкций

Наименование цеха	F, м2	P _{уд} , Вт/м ²	K _{со}	P _{ро} , кВт	Q _{ро} , квар.	ΣP _p , кВт	ΣQ _p , квар	ΣS _p , кВА
Кислородная станция	816	3,6	0,95	36,8	32,41	620,4	194,1	650,05
Склад химических реактивов	448	2,2	0,6	7,8	6,9	42,85	26,98	50,63
Насосная станция	288	3,6	0,95	13	11,4	258,7	115,9	283,4
Склад готовой продукции	5600	2,2	0,6	97,57	85,8	307,47	238,7	389,2
Склад	768	2,2	0,6	13,4	11,8	78,3	65,1	101,8
Компрессорная станция	576	3,6	0,95	25,96	22,84	743,79	502,44	897,6
Маляропокрасочный цех	10000	3,8	0,95	476,5	419,3	1795,6	1387	2268,9
Цех опор ЛЭП	12000	3,8	0,95	571,8	503,2	4324,2	3521,9	5577

Продолжение таблицы 4

Наименование цеха	F, м ²	P _{уд} , Вт/м ²	K _{со}	P _{ро} , кВт	Q _{ро} , квар.	∑P _р , кВт	∑Q _р , квар	∑S _р , кВА
Сварочный цех №1	14000	3,8	0,95	667,1	587,1	2942,7	4369,2	5267,8
Сварочный цех №2	17760	3,8	0,95	846,2	744,7	2921,7	4066,2	5007
Заготовительный цех	14000	3,8	0,95	667,1	587,1	5893,4	3644,3	6929,1
Гараж	160	3,6	0,85	6,46	5,69	48,29	43,79	65,2
Ремонтно-механический цех	2880	3,8	0,95	137,2	120,8	315,9	217,17	383,3
Теплица	1600	3,6	1	1,32	1,1	34,92	12,1	37
Теплопункт	400	3,6	1	19	16,7	104,72	60	120,7
Заводоуправление	960	4,4	0,8	44,6	39,2	196	159,3	252,5
Склад ремонтно-механического цеха	1120	2,2	0,6	19,51	17,2	79,36	68	104,5

2.3 Определение местоположения ГПП

Оптимальное размещение ГПП является одним из важных вопросов проектирования электроснабжения.

Для определения местоположения подстанции находится центр электрических нагрузок (ЦЭН), который является центром потребления электрической нагрузки. «Для определения места ГПП необходимо составить картограмму ЦЭН, которая представляет собой размещенные на генеральном плане окружности, которые в принятом масштабе равны электрическим нагрузкам цехов» [7].

«Радиус окружностей» [6].

$$R = \sqrt{\frac{P_{р.ц}}{\pi m_a}} \quad (11)$$

где P_{р.ц} – активная мощность n-цеха, кВт;

m_a – масштаб.

Координаты ЦЭН рассчитываются по формулам 12 и 13

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (12)$$

$$Y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (13)$$

где X_i и Y_i – координаты ЦЭН n-цеха.

В таблице 5 рассчитаны и приведены координаты ЦЭН для цехов предприятия.

Таблица 5 – Расчет координат ЦЭН

Наименование цеха	X_i , м	Y_i , м	$P_{р.ц}$	R , м	$P_{р.ц} \cdot X_i$	$P_{р.ц} \cdot Y_i$
Кислородная станция а) 0,38 кВт	193	701	620,4	25,6	119737,2	434900,4
б) Синхронные двигатели 10 кВ	193	701	2298,2	49,3	443552,6	1611038,2
Склад химических реактивов	105	651	42,85	6,7	4499,25	27895,35
Насосная станция	215	650	258,7	16,5	55620,5	168155
Склад готовой продукции	141	572	307,47	18	43343,27	175872,84
Склад	303	573	78,3	9,1	23724,9	44865,9
Компрессорная станция	259	569	743,79	28	192641,6	423216,51
Маляропокрасочный цех	161	494	1795,6	43,6	289091,6	887026,4
Цех опор ЛЭП	365	517	4324,2	67,8	1578333	2235611,4
Сварочный цех №1	161	374	2942,7	55,9	473774,7	1100569,8
Сварочный цех №2	367	305	2921,7	55,7	1072263,9	891118,5
Заготовительный цех	161	234	5893,4	79	948837,4	1379055,6
Гараж	465	189	48,29	7,2	22454,85	9126,81
Ремонтно-механический цех	375	161	315,9	18,3	118462,5	50859,9
Теплица	151	103	34,92	10	5272,92	3596,76
Теплопункт	201	103	104,72	10,5	21048,72	10786,16
Заводоуправление	285	101	196	14,4	55860	19796
Склад ремонтно-механического цеха	403	107	79,36	9,2	31982,08	8491,52
Итого:	-	-	22927,14	-	5468518,91	7436044,45
Координаты ЦЭН	X_0 , м	Y_0 , м	-	-	-	-
	238,5	324,3	-	-	-	-

На рисунке 2 изображена картограмма электрических нагрузок завода металлоконструкций.

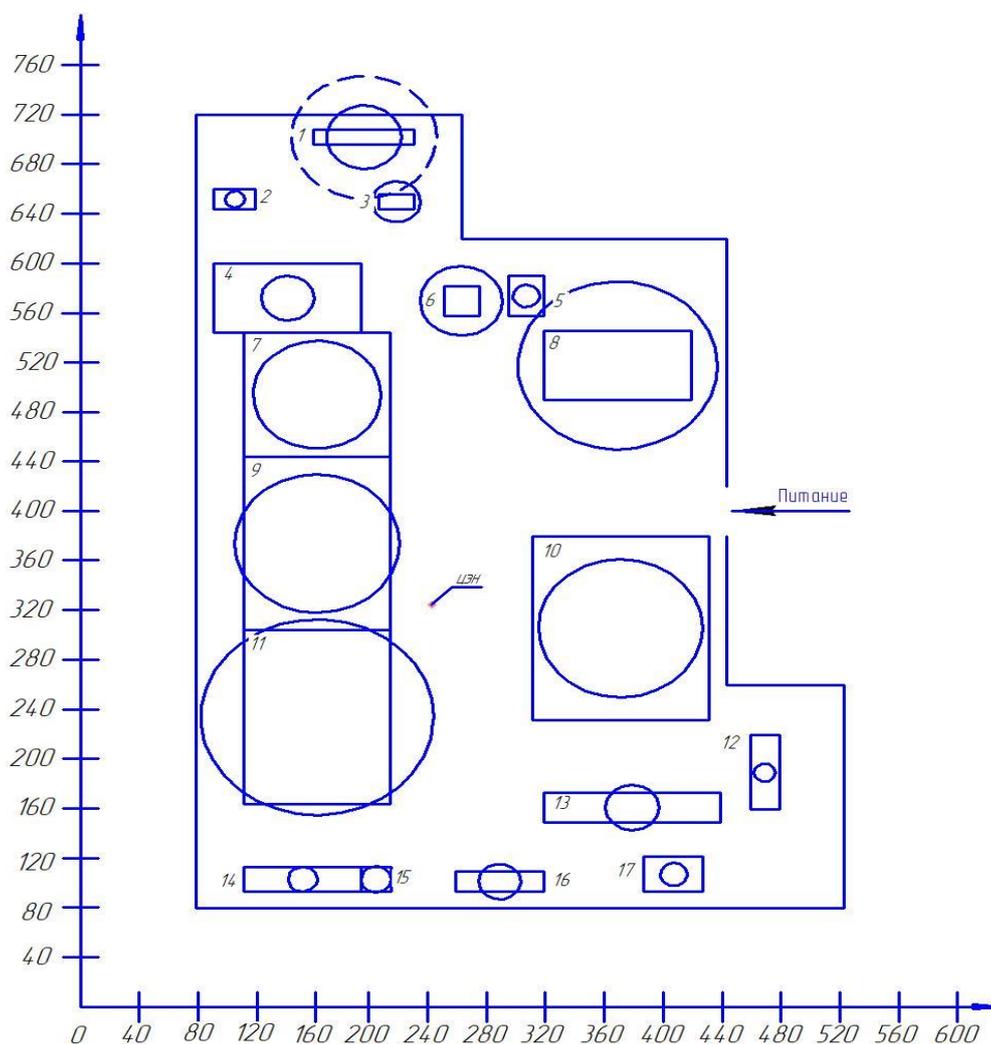


Рисунок 2 – Картограмма электрических нагрузок

Вывод: во втором разделе выпускной квалификационной работы были рассчитаны электрические нагрузки для потребителей завода, а также нагрузки осветительной сети и были рассчитаны координаты ЦЭН и составлена картограмма электрических нагрузок.

3 Система внутреннего электроснабжения

3.1 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций. Выбор компенсирующих установок

«Правильный выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции предприятий является основным вопросом рационального проектирования системы электроснабжения предприятия» [9].

Выбор мощности трансформаторов на подстанции производится исходя из следующих параметров:

- Полной расчетной нагрузке объекта электроснабжения;
- Количество трансформаторов на подстанции, коэффициент загрузки, определяется в зависимости от категории электроснабжения:

«Для потребителей I, II категории электроснабжения должны применяться двухтрансформаторные подстанции, обеспечивающие бесперебойное электроснабжение потребителей.

Для потребителей III категории рекомендуется применять однитрансформаторные подстанции» [11].

Прежде чем перейти к расчетам необходимо изучить план предприятия, расположения цехов, их нагрузку. Для цехов с большой нагрузкой рассчитывается отдельная ПС, а для рядом стоящих цехов с небольшой нагрузкой рассчитывается общая подстанция.

Рассмотрим план предприятия:

- Цеха 1,2,3,4 – располагаются отдельно, но все имеют небольшую нагрузку, поэтому для них рассчитываем общую цеховую ТП с расположением в цеху 4;

- Для цехов 5,6 рассчитывается также отдельная ТП, располагающаяся в цехе 5, аналогично цехам 1,2,3,4;

- Цеха 7,8,9,10,11 имеют большую нагрузку, поэтому для них рассчитываются отдельные ТП;

- Цеха 12,13,14,15,16,17 имеют небольшую нагрузку. Для них рассчитывается общая ТП и располагается в цехе 13.

Приведем два примера расчета. В первом примере произведем расчет для цеха 7, который имеет собственную цеховую ТП. Во втором примере произведем расчет для маломощных цехов (1-4), которые будут иметь общую ПС.

Пример 1:

«Мощность КУ на напряжение 0,4 кВ» [10].

$$Q_{\text{ку}} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_{\text{ку}}), \quad (14)$$

где α – коэффициент повышения $\cos\varphi$, принимается равным 0,9;

$tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности. Принимается равным 1,02;

$tg\varphi_{\text{ку}}$ – коэффициент реактивной мощности после компенсации. Принимается равным 0,33...0,48.

$$Q_{\text{ку}} = 0,9 \cdot 1795,6 \cdot (0,89 - 0,33) = 904,98 \text{ квар.}$$

Выбираем КУ типа АУКРМ-900-0,4. т.к цех имеет II категорию надежности, то в цеху устанавливается два трансформатора и две компенсирующие установки.

«Полная нагрузка цеха с учетом компенсации» [2].

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{ку}})^2} \quad (15)$$

$$S_p = \sqrt{1795,6^2 + (1387 - 900)^2} = 1860,47 \text{ кВА.}$$

Плотность электрической нагрузки цеха: [2]:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}} \quad (16)$$
$$\sigma = \frac{1860,47}{10000} = 0,2.$$

«Максимальная мощность трансформаторов выбирается из справочных данных. Она равна 1600 кВА» [5].

«Мощность цеховых трансформаторов» [13].

$$S_T \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T} \quad (17)$$
$$S_T \geq \frac{1860,47}{0,8 \cdot 2} = 1162,79$$

«Выбираем трансформаторы мощностью 1600 кВА. типа ТМ-1600/10/0,4» [5].

Пример 2:

«Общая активная и реактивная мощность цехов» [18]:

$$\sum P_p = P_{p1} + P_{p2} + P_{p3} + P_{p4} \quad (18)$$

$$\sum Q_p = Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{p3} + Q_{p4} \quad (19)$$

$$\sum P_p = 620,4 + 42,85 + 258,7 + 307,47 = 1229,42 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_p = 194,1 + 26,98 + 115,9 + 238,7 = 575,68 \text{ квар.}$$

$\text{tg}\varphi$ определяется через среднесменные мощности по формуле

$$\text{tg}\varphi = \frac{Q_{см1} + Q_{см2} + Q_{см3} + Q_{см4}}{P_{см1} + P_{см2} + P_{см3} + P_{см4}}, \quad (20)$$

$$tg\varphi = \frac{147 + 18,9 + 95 + 151,5}{531 + 23,5 + 206 + 143,5} = 0,45.$$

«Мощность компенсирующих установок» [11].

$$Q_{ку} = 0,9 \cdot 1229,42 \cdot (0,45 - 0,33) = 132,78 \text{ квар}$$

«Так как преобладают цеха I категории надежности, то устанавливаем два трансформатора и две компенсирующие установки» [12].

Выбираем компенсирующие установки типа АУКРМ-140-0,4.

Определим полную расчетную мощность с учетом компенсации по формуле 15

$$S_p = \sqrt{1229,42^2 + (575,68 - 140)^2} = 1304,33 \text{ кВА}.$$

Определим плотность электрической нагрузки цеха по формуле 16

$$\sigma = \frac{1304,33}{7152} = 0,18 \frac{\text{кВА}}{\text{М}^2}.$$

«Максимальная мощность трансформаторов выбирается из справочных данных. Она равна 1000 кВА» [20].

«Мощность цеховых трансформаторов» [21]:

$$S_m \geq \frac{1304,33}{2 \cdot 0,7} = 931,6 \text{ кВА}$$

Принимаем к установке трансформатор ТМ/1000/10/0.4.

Расчеты для остальных цехов сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчеты выбора цеховых трансформаторов и КУ

Номер ТП	Наименование цехов предприятия	Категория надежности	F _ц , м ²	Б, кВА/м ²	P _р , кВт	Q _{к.р} , квар	Q _р , квар	S _р , кВА	Принято к установке		
									КУ	S _{н.т.} , кВА	n _т / n _{ку}
ТП-1	Кислородная станция	I	7152	0,18	1229,42	140	435,68	1304,33	АУКРМ-140-0,4	ТМ-1000/10/0,4	2
	Склад химических реактивов	I									
	Насосная станция	I									
	Склад готовой продукции	III									
ТП-2	Склад	III	1344	0,6	822,09	325	242,55	857,12	АУКРМ-325-0,4	ТМ-630/10/0,4	2
	Компрессорная станция	I									
ТП-3	Малярпокрасочный цех	II	10000	0,2	1795,6	900	487	1860,67	АУКРМ-900-0,4	ТМ-1600/10/0,4	2
ТП-4	Цех опор ЛЭП	II	12000	0,32	4324	1200	2321	4907,55	АУКРМ-1200-0,4	ТМ-4000/10/0,4	2
ТП-5	Сварочный цех №1	II	14000	0,23	2942,7	1200	3169,2	4324,72	АУКРМ-1200-0,4	ТМ-4000/10/0,4	2
ТП-6	Сварочный цех №2	II	17760	0,18	2921,7	1200	2866,2	4092,83	АУКРМ-1200-0,4	ТМ-4000/10/0,4	2

Продолжение таблицы 6

Номер ТП	Наименование цехов предприятия	Категория надежности	F _ц , м ²	б, кВА/м ²	P _р , кВт	Q _{к.р} , квар	Q _р , квар	S _р , кВА	Принято к установке		
									КУ	S _{н.т.} , кВА	n _т / n _{ку}
ТП-7	Заготовительный цех	II	14000	0,45	5893,4	1200	2444	6380,18	АУКРМ-1200-0,4	ТМ-4000/10/0,4	2
ТП-8	Гараж	III	7120	0,1	779,19	450	66,57	782,02	АУКРМ-450-0,4	ТМ-630/10/0,4	2
	Ремонтно-механический цех	II									
	Теплица	III									
	Теплопункт	I									
	Заводоуправление	II									
	Склад ремонтно-механического цеха	III									
Суммарная полная мощность цехов, $\sum S_p$, кВА:								24509,4			

3.2 Определение потерь мощности в цеховых трансформаторах

Активные и реактивные потери мощности в трансформаторах определяются по следующим формулам:

$$\Delta Q_x = S_H \cdot \frac{I_{xx}}{100} \quad (21)$$

$$\Delta Q_k = S_H \cdot \frac{I_{xx}}{100} \quad (22)$$

$$\Delta Q_m = \Delta Q_x + \Delta Q_k \quad (23)$$

$$\Delta P'_x = \Delta P_{xx} + K_3 \cdot \Delta Q_x \quad (24)$$

$$\Delta P'_k = \Delta P_{k3} + K_3 \cdot \Delta Q_k \quad (25)$$

$$\Delta P_m = \Delta P'_{xx} + \Delta P'_{k3} \quad (26)$$

где S_H – номинальная мощность трансформатора, кВА;

I_{xx} – ток холостого тока, определяется по паспортным данным, %;

U_k – напряжение короткого замыкания, определяется по паспортным данным, %;

ΔP_{xx} – потери холостого хода, определяется по паспортным данным, кВт;

ΔP_{k3} – потери короткого замыкания, определяется по паспортным данным, кВт.

Произведем расчеты активной и реактивной потери мощности на примере ТП-8.

$$\Delta Q_x = 630 \cdot \frac{1,7}{100} = 10,71 \text{ квар}$$

$$\Delta Q_k = 630 \cdot \frac{4}{100} = 25,2 \text{ квар}$$

$$\Delta Q_{mm} = 10,71 + 25,2 = 35,91 \text{ квар}$$

$$\Delta P'_x = 1,3 + 0,8 \cdot 10,71 = 9,87 \text{ кВт}$$

$$\Delta P'_k = 6,5 + 0,8 \cdot 25,2 = 26,66 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_m = 9,87 + 26,66 = 36,53 \text{ кВт}$$

Для остальных ТП расчеты сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Определение потерь активной и реактивной мощности цеховых трансформаторов

Наименование ТП	Тип и количество трансформаторов	$S_{ном}$, кВА	K_3	I_{xx} %	U_k %	ΔP_{xx} кВт	$\Delta P_{кз}$ кВт	$\Delta P_{тм}$ кВт	$\Delta Q_{тмк}$ вар
ТП-1	2 ТМ-1000/10/0,4	1000	0,7	1,3	6,0	1,7	10,5	100,5	73
ТП-2	2 ТМ-630/10/0,4	630	0,7	1,7	4,0	1,3	6,5	36,56	35,91
ТП-3	2 ТМ-1600/10/0,4	1600	0,8	1,1	6,0	2,6	17	140,5	113,6
ТП-4	2 ТМ-4000/10/0,4	4000	0,8	0,9	6,0	4,2	29	279,6	308
ТП-5	2 ТМ-4000/10/0,4	4000	0,8	0,9	6,0	4,2	29	279,6	308
ТП-6	2 ТМ-4000/10/0,4	4000	0,8	0,9	6,0	4,2	29	279,6	308
ТП-7	2 ТМ-4000/10/0,4	4000	0,8	0,9	6,0	4,2	29	279,6	308
ТП-8	2 ТМ-630/10/0,4	630	0,8	1,7	4,0	1,3	6,5	36,56	35,91
Итого								1333	1490

3.3 Расчет распределительной сети предприятия

«Распределительную сеть предприятия выполняем по смешанной схеме. Питание электрооборудования участков предприятия осуществляется от ТП и распределительных пунктов, которые питаются от ТП. Питание ТП осуществляется от ГПП предприятия по кабельным линиям 10 кВ. Питание РП 0,4 кВ осуществляется по КЛ 0,4 кВ. Электроснабжение участков 1 и 2-ой категории надежности электроснабжения обеспечивается по двухцепным кабельным линиям; 3-ей категории – по одноцепным. Кабельные линии на 10 кВ выполняются кабелем АПвП и на 0,38 кВ кабелем АПвБбШп. Кабели от ГПП до ТП прокладываются в канале, от ТП до РП в кабельных траншеях» [16].

Произведем расчет участка ГПП—ТП-6

Рассчитаем полную мощность ТП-6 с учетом потерь и компенсации

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_o + \Delta P) + (Q_p + Q_o - Q_{кр})} \quad (27)$$

$$S_p = \sqrt{2075,5 + 846,2 + 279,6) + (3321,5 + 744,7 - 1200) = 4507,98$$

Затем рассчитаем расчетный ток по формуле 28:

$$I_p = \frac{S_{np}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (28)$$

где $U_{ном}$ – Номинальное напряжение, кВт;

S_{np} – расчетная мощность по предприятию, кВА.

$$I_p = \frac{4507,98}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 130,29 \text{ А.}$$

Определим экономически выгодное сечение по формуле 29:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (29)$$

где j_3 – экономическая плотность тока, А/мм²

т.к кабельная линия проложена в земле, то $J_3 = 1,4$

$$F_3 = \frac{130,29}{1,4} = 93,06 \text{ мм}^2.$$

Максимальный ток определяется по формуле 30:

$$I_p = \frac{S_{np}}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (30)$$

$$I_{ав} = \frac{4507,98}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 260,58 \text{ А.}$$

Принимаем кабель АПвП 3х185, допустимый ток $I_d=338$ А; С учетом несколько лежащих рядом кабелей (7 кабелей) принимаем поправочный

коэффициент равным $K_{\pi}=0,85$; $I'_{д} = 287$ А, следовательно данный кабель подходит. Для остальных участков расчеты сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбор кабелей 10 кВ

Участок	N	$S_p, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$	$I_{ав}, \text{А}$	$F_{эк}, \text{мм}^2$	$F_{ст}, \text{мм}^2$	п, шт.	K_{π}	$I_{д}, \text{А}$
ГПП—ТП-6	2	4507,98	130,28	260,58	93,02	185	7	0,85	338
ГПП—ТП-4	2	5302,01	153,24	306,48	109,46	240	7	0,85	392
ГПП—ТП-5	2	4740,68	137,5	275,18	97,8	185	7	0,85	338
ГПП—ТП-7	2	6758,77	195,32	390,63	139,51	300	7	0,85	456
ГПП—ТП-8	2	822,16	23,77	47,54	16,98	25	7	0,85	112
ГПП—ТП-3	2	2027,01	58,59	117,17	41,85	50	7	0,85	156
ГПП—ТП-2	2	902,67	26,09	52,18	18,63	25	7	0,85	112
ТП-3—ТП-1	2	4213,85	121,78	243,57	86,9	120	7	0,85	265
ТП-1—РП-1	2	3495,33	101,02	202,04	72,1	120	7	0,85	265

«Найдем потери напряжения в линии на участке ГПП—ТП-6 по формуле 31» [13]:

$$\Delta U_{\text{доп}} \% \geq \Delta U \% ,$$

«где $\Delta U_{\text{доп}} \%$ - допустимые потери напряжения, согласно ПУЭ не должны превышать 5%» [13]

$\Delta U \%$ - расчетные потери напряжения, %

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L}{U_{\text{ном}}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100, \quad (31)$$

«где I_p – расчетный ток линии, А;

L – длина линии, км;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение, кВ;

R_0, X_0 – удельное активное и реактивное сопротивление провода, Ом/км;

$\cos \varphi$ – средний коэффициент мощности нагрузки» [13].

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 130,28 \cdot 0,050}{110000} \cdot (0,169 \cdot 0,44 + 0,077 \cdot 0,89) \cdot 100 = 0,015 \%$$

$$5 \% \geq 0,015 \%$$

«Потери напряжения не должны превышать 5 %» [11].

Для остальных участков проверка на потерю напряжения сведена в таблицу 9.

Таблица 9 – Проверка кабельных линий 10 кВ на потерю напряжения

Участок	F _{ст} , м	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	L, км	cosφ	sinφ	ΔU, %
ГПП—ТП-6	185	0,169	0,077	0,050	0,44	0,89	0,015
ГПП—ТП-4	240	0,130	0,075	0,078	0,47	0,88	0,024
ГПП—ТП-5	185	0,169	0,077	0,240	0,43	0,9	0,079
ГПП—ТП-7	300	0,123	0,073	0,348	0,75	0,66	0,143
ГПП—ТП-8	25	1,25	0,099	0,476	0,72	0,69	0,183
ГПП—ТП-3	50	0,625	0,09	0,335	0,74	0,67	0,156
ГПП—ТП-2	25	1,25	0,099	0,296	0,79	0,61	1,4
ТП-3—ТП-1	120	0,261	0,081	0,067	0,91	0,41	0,97
ТП-1—РП-1	120	0,261	0,081	0,117	0,67	0,73	0,044

Выбор кабелей 0,38 кВ.

«Кабель, рассчитанный на номинальное напряжение меньше 1000 В, не выбирают по экономическому сечению, то выбор кабеля будем производить по допустимой потере напряжения и длительно допустимому току нагрева» [17].

$$I_{ав} \geq I_p$$

Произведем расчет и выбор кабеля на участке ТП-1—РП-2:

$$I_p = \frac{50,73}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 77,17 \text{ A.}$$

Выбираем кабель АПвБбШп 3х16; $I_d = 80$ А.

Для остальных участков выбор кабелей сведен в таблицу 10

Таблица 10 – Выбор кабелей 0,38 кВ

Участок	$S_p, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$	$F_{ст}, \text{мм}^2$	$I_d, \text{А}$
ТП-1—РП-3	50,73	77,17	16	80
ТП-1—РП-2	283,4	413,09	240	421
ТП-2—РП-4	101,8	154,85	70	188
ТП-8—РП-7	169,68	258,1	120	269
РП-7—РП-5	65,2	99,1	25	100
ТП-8—РП-8	252,5	384,1	240	421
РП-8—РП-9	157,15	239,05	120	269
РП-9—РП-10	37	56,28	16	80

Рассчитаем потери напряжения на участке ТП-1—РП-2.

«Потери напряжения не должны превышать 5 %» [11].

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 77,17 \cdot 0,059}{380} \cdot (1,95 \cdot 0,78 + 0,068 \cdot 0,62) \cdot 100 = 3,12 \%$$

$$5\% \geq 3,12\%$$

Для остальных участков расчеты сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Проверка кабелей 0,38 кВ на потерю напряжения

Участок	$F_{ст}, \text{М}$	$r_0, \text{ОМ/КМ}$	$x_0, \text{ОМ/КМ}$	$L, \text{КМ}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$\Delta U, \%$
ТП-1—РП-3	16	1,95	0,068	0,059	0,78	0,62	3,12
ТП-1—РП-2	240	0,130	0,058	0,133	0,91	0,41	2,96
ТП-2—РП-4	70	0,447	0,061	0,020	0,76	0,64	0,51
ТП-8—РП-7	120	0,447	0,061	0,091	0,69	0,72	3,85
РП-7—РП-5	25	1,25	0,066	0,108	0,67	0,74	1,75
ТП-8—РП-8	240	0,130	0,058	0,048	0,74	0,67	0,76
РП-8—РП-9	120	0,261	0,06	0,148	0,9	0,43	4,16
РП-9—РП-10	16	1,95	0,068	0,050	0,96	0,28	2,46

Схема распределительной сети приведена на рисунке 3

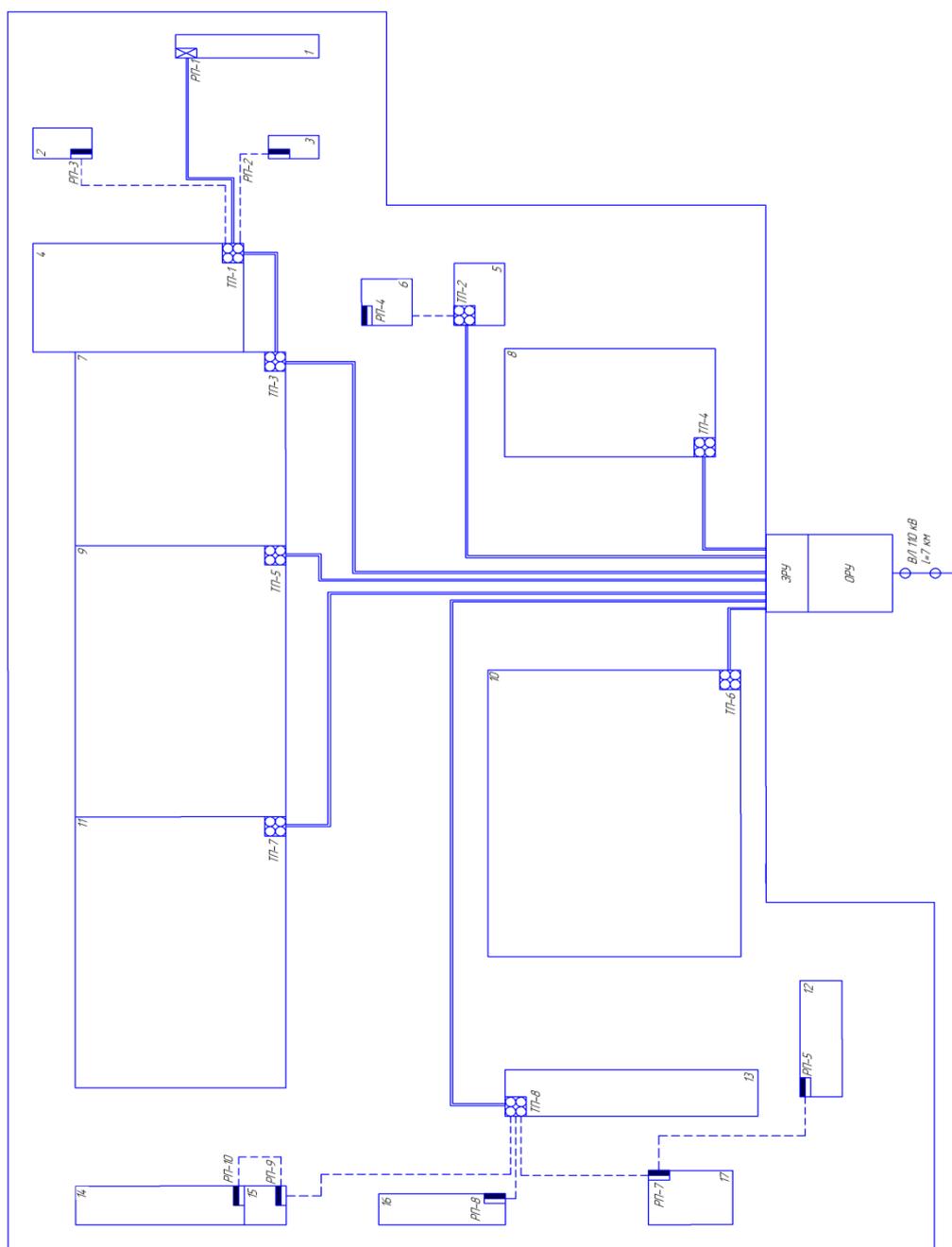


Рисунок 3 – Схема распределительной сети завода металлоконструкций

Вывод: в третьем разделе рассчитана распределительная сеть завода металлоконструкций, рассчитаны сечения и выбраны марки кабелей 10 кВ и 0,4 кВ, проведена проверка кабелей на потерю мощности.

4 Система внешнего электроснабжения

4.1 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП. Определение потерь мощности трансформаторов ГПП

Найдем суммарную активную нагрузку, включая потери, по всему предприятию по формуле 25:

$$P_{np} = P_{нн} + P_{вн} + \Delta P \quad (32)$$
$$P_{np} = 20708,3 + 2298,2 + 1432,5 = 24439 \text{ кВт}$$

По формуле Стилла (формула 26) определим величину рационального напряжения:

$$U_p = 4,34 \cdot \sqrt{L \cdot 0,016 \cdot P_p} \quad (33)$$
$$U_p = 4,34 \cdot \sqrt{7 \cdot 0,016 \cdot 24439} = 117,06 \text{ кВ.}$$

Питающее напряжение 110 кВ.

«Экономически целесообразная мощность, потребляемая предприятием на стороне ВН ГПП» [19]:

$$Q_{эц} = P_{np} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{эц} \quad (34)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{эц}$ – это коэффициент целесообразной реактивной мощности.

$\operatorname{tg} \varphi_{эц}$ выбирается из справочных данных. Так как питающее напряжение будет равным 110 кВ, то $\operatorname{tg} \varphi_{эц}$ принимается равным 0,54.

Произведем расчет экономически целесообразной мощности

$$Q_{эц} = 24439 \cdot 0,54 = 13197,06 \text{ квар.}$$

«Рассчитаем полную мощность предприятия по формуле 35» [11]:

$$S_{np} = \sqrt{P_{np}^2 + Q_{эс}^2} \quad (35)$$

$$S_{np} = \sqrt{14199,11^2 + 7667,52^2} = 27774,57 \text{ кВА.}$$

Номинальная мощность трансформаторов ГПП определим по формуле 36:

$$S_m \geq \frac{S_{np} \cdot K_y}{K_n}, \quad (36)$$

где K_y – коэффициент участия потребителей I и II категории;

K_n – коэффициент перегрузки.

«Так как преобладают потребители I и II категории, то принимаем $K_y = 1$; $K_n = 1,3$ » [11].

$$S_m \geq \frac{27774,54 \cdot 1}{1,3} = 21365,03 \text{ кВА}$$

Принимаем к установке 2 трансформатора ТРДН-25000/110/10.

Определим потери мощности трансформаторов ГПП по формулам 21-26:

$$\Delta Q_x = 25000 \cdot \frac{0,31}{100} = 77,5 \text{ квар}$$

$$\Delta Q_k = 25000 \cdot \frac{17,5}{100} = 4375 \text{ квар}$$

$$\Delta Q_m = 77,5 + 4375 = 4452,5 \text{ квар}$$

$$\Delta P'_x = 24,5 + 0,8 \cdot 77,5 = 86,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P'_k = 140 + 0,8 \cdot 4375 = 3640 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_m = \Delta P'_{xx} + \Delta P'_{кз} = 3726,5 \text{ кВт}$$

4.2 Расчет питающей линии до ГПП

В соответствии с принятой системой электроснабжения необходимо произвести выбор сечения проводов воздушных линий на стороне ВН. Так как преобладают приёмники I и II категории принимается одна двухцепная ВЛ.

Источником питания ГПП предприятия является ЛЭП-110 кВ, которая находится на расстоянии 7 км.

Для двухцепных ЛЭП (формула 28) расчетный ток определяется как:

$$I_p = \frac{27774,57}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 72,99 \text{ A}$$

«Экономически выгодное сечение линии, для цепи» [4].

$$F_9 = \frac{72,99}{1,2} = 60,83 \text{ мм}^2$$

«По условию коронирования для ВЛ 110 кВ, сечение провода должно быть не менее 70 мм²» [12].

«Выбираем сталеалюминевые провода АС-70/11, $I_{\text{доп}} = 265 \text{ A}$; $r_0 = 0,429 \text{ Ом/км}$; $x_0 = 0,444 \text{ Ом/км}$ » [7].

«Проверка сечения по аварийному режиму» [7]:

$$I_{ав} = \frac{27774,57}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 145,95 \text{ A}$$

Аварийное сечение не должно превышать допустимый ток

$$I_{\text{доп}} \geq I_{ав}$$

$$265 A \geq 145,95 A$$

Произведем проверку выбранного сечения на потерю напряжения по формуле 31:

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 72,99 \cdot 7}{110000} \cdot (0,429 \cdot 0,873 + 0,444 \cdot 0,488) \cdot 100 = 0,48 \%$$

$$5 \% \geq 0,48 \%$$

Так как расчеты удовлетворяют требованиям ПУЭ, окончательно принимаем вариант питания ГПП по ВЛ напряжением 110 кВ, проводом АС-70/11

Вывод: в четвертом разделе бакалаврской работы были рассчитаны и приняты к установке 2 трансформатора ГПП типа ТРДН-25000/110/10, определены потери мощности трансформаторов, также определено, что питание до ГПП осуществляется сталеалюминевыми проводами АС-70/11, данное сечение прошло проверку на потерю напряжения.

5 Расчет токов короткого замыкания. Выбор электрооборудования на стороне 10 кВ ГПП. Расчет заземления подстанции

5.1 Расчет токов короткого замыкания

«В данном разделе необходимо найти ток трехфазного КЗ на низкой стороне трансформатора» [5].

«Паспортные данные трансформатора ТРДН-25000/110/10: $S_H = 25$ МВА; $U_{BH} = 115$ кВ; $U_{HH} = 11$ кВ; $U_K = 10,5$ %; $P_K = 120$ кВт; $P_X = 22$ кВт» [9].

«Запишем дополнительные данные: $S_6 = 1000$ МВА; $U_6 = 10,5$ кВ; $S_K = 1360$ МВА; $K_{уд} = 1,85$; $L = 7$ км; $X_0 = 0,4$ Ом/км» [8].

«Сопротивления системы» [13].

$$x_{C6} = \frac{S_6}{S_K} \quad (37)$$

$$x_{C6} = \frac{1000}{1360} = 0,73 \text{ о.е}$$

«Сопротивления трансформатора» [2].

$$x_{л6} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} \quad (38)$$

$$x_{л6} = 0,4 \cdot 7 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,21 \text{ о.е}$$

«Сопротивление трансформатора» [2].

$$x_{т6} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H} \quad (39)$$

$$x_{т6} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 4,2 \text{ о.е}$$

«Ток короткого замыкания» [16]:

$$x_k = x_{c6} + x_{л6} + x_{т6} \quad (40)$$

$$x_k = 0,73 + 0,21 + 4,2 = 5,14 \text{ о. е.}$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} \quad (41)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55,05 \text{ кА}$$

$$I_{по} = \frac{E''_{*C}}{x_{к1}} \cdot I_6 \quad (42)$$

$$I_{по} = \frac{1}{5,14} \cdot 55,05 = 10,71 \text{ кА}$$

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot k_{y\delta} \quad (43)$$

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 8,38 \cdot 1,85 = 27,94 \text{ кА}$$

5.2 Выбор и проверка оборудования на стороне 10 кВ ГПП

«Для напряжений 10 кВ можно использовать КРУ» [23].

Выбираем КРУ-СЭЩ-70.

Перечень измерительных приборов, уставляемых на ПС, приведен в таблице 12.

Таблица 12 - Перечень измерительных приборов

Цепь	Место установки	Перечень приборов
Двухобмоточный трансформатор	ВН	Амперметр
	НН	Амперметр, ваттметр, варметр, счетчики активной и реактивной энергии
Сборные шины 10 кВ	Каждая секция сборных шин	Вольтметр
Секционный выключатель	-	Амперметр

Продолжение таблицы 12

Цепь	Место установки	Перечень приборов
Линии 10 кВ к ТП	Каждая линия	Амперметр, счетчики активной и реактивной энергии
Трансформатор собственных нужд	ВН	-
	НН	Амперметр, счетчики активной энергии

Данные по КРУ записываются в таблицу 13.

Таблица 13 – Данные по оборудованию КРУ

Тип ячейки	
Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Тип выключателя	ВВУ-СЭЩ-Э-10-20/1600У2.
Тип трансформатора напряжения	НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,5-225.
Тип трансформатора тока	ТОЛ-СЭЩ-10-0,5S-1600/5

Проверим вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ-Э-10-20/1600У2.

«1. Номинальное напряжение» [15]:

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$$

«2. Номинальный рабочий ток» [15]:

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1445,08 \text{ А}$$

$$I_{\text{раб}} = 1445,08 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$$

«3. Отключающая способность» [15]:

«3.1. Симметричный ток» [15]:

$$I_{п,т} = I_{по} = 10,71 \text{ кА}$$

$$I_{п,т} = 10,71 \text{ кА} \leq I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}$$

«3.2. Аperiodическая составляющая тока» [15]:

$$\tau = t_{рз} + t_{с.в.} = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

$$I_{а,т} = \sqrt{2} \cdot I_{н,т} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 10,71 \cdot e^{-\frac{0,05}{0,03}} = 2,86 \text{ кА}$$

$$I_{а,ном} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{нор}}{100} \right) \cdot I_{откл.ном} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 40}{100} \right) \cdot 20 = 11,31 \text{ кА}$$

$$I_{а,т} = 2,86 \text{ кА} \leq I_{а,ном} = 11,31 \text{ кА}$$

«4. Включающая способность» [15]:

$$I_{но} = 10,71 \text{ кА} \leq I_{вкл.ном} = 20 \text{ кА}$$

$$I_{уд} = 27,94 \text{ кА} \leq i_{вкл.ном} = 51 \text{ кА}$$

«5. Электродинамическая стойкость» [15]:

$$I_{но} = 10,71 \text{ кА} \leq I_{нр.с} = 20 \text{ кА}$$

$$I_{уд} = 27,94 \text{ кА} \leq i_{нр.с} = 51 \text{ кА}$$

«6. Термическая стойкость» [15]:

$$t_{откл} = t_{рз} + t_{нв.откл} = 0,01 + 0,06 = 0,07 \text{ с}$$

$$B_K = I_{н,0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a) = (10,71 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,07 + 0,03) = 11,47 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$$

$$\text{Если } t_{откл} \geq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$$

$$\text{Если } t_{откл} \leq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_{откл}$$

$$t_{откл} = 0,07 \text{ с} \leq t_T = 3 \text{ с}$$

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = (20 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,07 = 28 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_K = 6,32 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c} \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = 28 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c}$$

Все условия выполняются, а значит, данный выключатель прошел проверку.

Проверим трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ-10-0,5S-1600/5

«1. Номинальное напряжение» [2]:

$$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ} \leq U_{сет.НОМ} = 10 \text{ кВ}$$

«2. Номинальный рабочий ток» [4]:

$$I_{раб} = 1445,08 \text{ А} \leq I_{НОМ} = 1600 \text{ А}$$

«3. Термическая стойкость» [19]:

$$t_{откл} = 0,07 \text{ с}; B_K = 6,32 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c}$$

$$\text{Если } t_{откл} \geq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$$

$$\text{Если } t_{откл} \leq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_{откл}$$

$$t_{откл} = 0,07 \text{ с} \leq t_T = 3 \text{ с}$$

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = (40 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,07 = 112 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c}$$

$$B_K = 6,32 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c} \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = 112 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c}$$

«4. Вторичная нагрузка» [3]:

$$Z_{2НОМ} = \frac{S_2}{I_2^2} = \frac{50}{5^2} = 2 \text{ Ом}$$

В таблице 14 приведены приборы, подключаемые ко вторичной обмотке трансформатора тока.

«Нагрузка вторичных обмоток трансформатора тока выбирается исходя из одной ячейки» [25].

Таблица 14 – Измерительные приборы, подключенные к трансформатору тока

Тип прибора	Название прибора	п, кол.	$S_{\text{приб}}, \text{ВА}$	$S_{\Sigma}, \text{ВА}$
Амперметр	ЦМ120	1	15	15
Ваттметр				
Счетчики активной энергии и реактивной энергии	ЦМК120СП	1	10	10
Суммарное значение полной мощности всех приборов				25

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\Sigma}}{I_2^2} = \frac{25}{5^2} = 1 \text{ Ом}$$

«Так как во вторичной цепи будет больше одного устройства, то сопротивление контактов примем равной $R_K = 0,1 \text{ Ом}$ » [22].

$$R_{np} \leq Z_{2НОМ} - R_{\text{приб}} - R_K = 2 - 1 - 0,1 = 0,9 \text{ Ом}$$

«Расчетная длина проводов вторичной обмотки зависит от схемы соединения.

Как правило, используется полная звезда, а значит $l_p = l$ » [11].

«Для 10 кВ, длина вторичных цепей находится в диапазоне 4...6 м» [11]

«Удельное сопротивление равно $\rho = 0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, так как жила будет из меди» [11].

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{np}} = \frac{0,0175 \cdot 4}{0,9} = 0,08 \text{ мм}^2$$

«Минимальное сечение для медных проводов равно $2,5 \text{ мм}^2$ » [11].

Принимаем сечение равное $2,5 \text{ мм}^2$

Теперь проверим трёхфазный трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,5-225.

1. Номинальное напряжение определяем из соотношения:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$$

2. Находим величину вторичной нагрузки трансформатора напряжения.

Нагрузки, получающие питание от ТН приведены в таблице 15.

Таблица 15– Нагрузки, получающие питание от ТН

Тип прибора	Название прибора	cos φ	sin φ	n _{приб.} КОЛ.	n _{кат.} КОЛ.	S _{кат.} ВА	S _Σ ВА
Вольтметр	ЩМ120	1	0	2	-	-	30
Ваттметр							
Счетчики активной энергии и реактивной энергии	ЩМК120СП	0,38	0,925	7	-	-	70

$$S_{ном} = 225 \text{ ВА}$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{приб} \cdot \cos \varphi)^2 + (\sum S_{приб} \cdot \sin \varphi)^2} =$$

$$= \sqrt{(30 + 70 \cdot 0,38)^2 + (\sum 70 \cdot 0,925)^2} = 86 \text{ ВА}$$

$$S_{ном} = 225 \text{ ВА} \geq S_{2\Sigma} = 86 \text{ ВА}$$

Параметры выбранного трансформатора напряжения сводятся в таблицу 16.

Таблицу 16 - Параметры выбранного трансформатора напряжения

Параметр	Значение
Номинальное напряжение обмотки, В: ВН	10000 / $\sqrt{3}$

Продолжение таблицы 16

Параметр	Значение
НН	$100/\sqrt{3}$
Вторичная нагрузка, ВА: расчетная $S_{2\Sigma}$	86
$S_{\text{ном}}$	225
Класс точности	0,5

5.3 Расчет заземления подстанции

Намечаю расположение вертикальных электродов по контуру. Заземление выполняем стальными уголками 50x50x4 мм, длиной 3 м углубленными на 0,8 м от поверхности земли и соединенными полосой сечением 40x4 мм.

«Сопротивление заземляющих устройств в трансформаторных подстанциях напряжением 110/10 кВ, $R_3 = 0,5 \text{ Ом}$ » [11].

«Удельное сопротивление грунта ρ (Ом·м) для вертикальных и горизонтальных электродов с учетом коэффициента сезонности» [7].

$$\rho_{\rho} = \rho \cdot K_c, \quad (44)$$

Где, ρ – удельное сопротивление грунта, ом·м;

K_c – коэффициент сезонности;

$$\rho_{\text{вэ}} = 100 \cdot 1,1 = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

«Сопротивление одного вертикального электрода» [15]:

$$R_{\text{вэ}} = \frac{\rho_{\text{вэ}}}{2\pi l_{\text{вэ}}} \cdot \left(\ln \frac{2l_{\text{вэ}}}{d} + 0,5 \ln \frac{4l_{\text{вэ}} + 7t_1}{l_{\text{вэ}} + 7t_1} \right), \quad (45)$$

где $l_{\text{вэ}}$ – «длина вертикального электрода, м;

d – диаметр вертикального электрода, м;

t_1 – расстояние от поверхности, до центра электрода, м» [15].

Определим диаметр одиночного вертикального электрода [18]:

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (46)$$

где « b – ширина уголка» [15], $b = 0,05$ м.

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м}$$
$$R_{\text{вэ}} = \frac{110}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,0475} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 3 + 7 \cdot 0,8}{3 + 0,8} \right) = 32,53 \text{ Ом}$$

Определим ориентировочное число вертикальных электродов по формуле 47:

$$n_{\text{вэ}} = \frac{R_{\text{вэ}}}{R_3} \quad (47)$$
$$n_{\text{вэ}} = \frac{32,53}{0,5} = 65,04$$

Принимается 66 штук.

Длина горизонтальной полосы определяется по формуле 48:

$$l_{\text{гэ}} = 1,05 \cdot a \cdot n_{\text{вэ}}, \quad (48)$$

где a – расстояние между электродами, м.

Расстояние между электродами определяется по формуле 49:

$$a = P_{\text{гпп}}/n, \quad (49)$$

где $P_{\text{гпп}}$ - периметр ГПП, м.

$$a = \frac{140}{66} = 2,12 \text{ м}$$

Рассчитаем длину горизонтальной полосы

$$l_{23} = 1,05 \cdot 2,12 \cdot 146,9 \text{ м}$$

По формуле 44 рассчитаем удельное сопротивление грунта для горизонтальных электродов

$$\rho_{63} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

«Сопротивление горизонтального электрода определяется по формуле 50» [15]:

$$R_{23} = \frac{\rho_{23}}{2\pi l_{23}} \cdot \ln \frac{l_{23}^2}{d \cdot t} \quad (50)$$

«Рассчитаем сопротивление горизонтального электрода» [15]:

$$R_{23} = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 146,9} \cdot \ln \frac{146,99^2}{0,02 \cdot 0,8} = 1,39 \text{ Ом}$$

«Рассчитаем сопротивление эквивалентного группового заземления по формуле 51» [15]:

$$R_{\text{Гр}} = \frac{R_{\text{ВЭ}} \cdot R_{\text{ГЭ}}}{R_{\text{ВЭ}} \cdot \eta_{\text{ВЭ}} \cdot n + R_{\text{ГЭ}} \cdot \eta_{\text{ГЭ}}}, \quad (51)$$

где $\eta_{\text{ВЭ}}$ – коэффициент использования вертикального электрода;

$\eta_{\text{ГЭ}}$ - коэффициент использования горизонтального электрода.

Произведем расчет сопротивления эквивалентного группового заземления

$$R_{gp} = \frac{32,53 \cdot 1,39}{32,53 \cdot 0,52 \cdot 66 + 1,39 \cdot 0,26} = 0,4 \text{ Ом}$$

Групповое сопротивление $R_{gp} = 0,4 \text{ Ом}$, что удовлетворяет требованиям ПУЭ

$$R_{gp} < R_z$$
$$0,4 \text{ Ом} < 0,5 \text{ Ом}$$

Принимаем за заземляющее устройство угловую сталь 50x50x4 мм, длиной 3 м углубленную на 0,8 м от плоскости соединенной полосой сечением 40x4 мм.

Вывод: в данном разделе выпускной квалификационной работы были рассчитаны токи короткого замыкания, приняты к установке выключатели типа ВВУ-СЭЦ-10, трансформаторы напряжения типа НАЛИ-СЭЦ-10 и трансформаторы тока типа ТОЛ-СЭЦ-10, было рассчитано заземляющее устройство и принято к установке заземляющее устройство в виде угловой стали 50x50x4 мм, длиной 3 м углубленную на 0,8 м от плоскости соединенной полосой сечением 40x4 мм.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была спроектирована система электроснабжения и было определено, что ГПП завода получает питание от ЛЭП 110 кВ по высоковольтной линии на протяжении 7 км, проводами АС-70/11. На ГПП установлены 2 трансформатора ТРДН-25000/110/10.

Питание цеховых трансформаторных подстанций осуществляется от кабелей АПвП, а питание маломощных потребителей кабелями АПвБШп. В цеховых трансформаторных подстанциях установлены трансформаторы типа ТМ и компенсирующие установки типа АУКРМ.

Были произведены расчеты электрических нагрузок по всем помещениям предприятия.

Общая нагрузка составила 25898,58 кВА, были рассчитаны электрические нагрузки осветительной сети и, на основании расчетов, найден центр электрических нагрузок и составлена картограмма электрических нагрузок.

Также в ходе выполнения работы были рассчитаны токи короткого замыкания и выбрано электрооборудование на стороне 10 кВ ГПП.

Приняты к установке выключатели типа ВВУ-СЭЩ-10, трансформаторы напряжения типа НАЛИ-СЭЩ-10 и трансформаторы тока типа ТОЛ-СЭЩ-10.

В последнем разделе выпускной квалификационной работы было рассчитано заземляющее устройство и принято к установке заземление угловой сталью 50х50х4 мм, длиной 3 м. заглубленными на 0,8 м. от поверхности земли и связанными между собой полосой сечением 40х4 мм.

Разработанная система электроснабжения завода металлоконструкций удовлетворяет современные требования и является безопасной, экономичной, энергоэффективной и надежной.

Список используемых источников

1. Абрамова Е.Я. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие по курсу ЭПП /Е.Я. Абрамова, С.К. Алешина, В.И. Чиндяскин.- Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 103 с. URL: <https://studfile.net/preview/6829683/> (дата обращения 15.06.2021).
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/jspui/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 15.06.2021).
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование и оптимизация систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие для курсового проектирования /В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. - Тольятти: ТГУ, 2006. 69 с.
4. Завод металлоконструкций: принципы организации [Электронный ресурс]: URL: <https://www.oborud.info/news/?t=10749> (дата обращения: 18.04.2021).
5. Кнорринг Т.М. Справочная книга для проектирования электроосвещения. – Санкт-Петербург: Энергия, 2018. 573 с.
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин, В.В. Прокопчик. - Минск: Высшая школа, 2018. 352 с.
7. Куско А. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии. М.: Додэка XXI, 2011. 336 с.
8. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Защитное заземление и зануление электроустановок. СПб.: Политехника, 2005. 400 с.
9. Машининформ.ру [сайт] URL: <https://electro.mashinform.ru/> (дата обращения: 18.04.2021).
10. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий М: «Энергия», 2001г. 584 с.

11. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебник для вузов. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 608 с.
12. Правила устройств электроустановок (ПУЭ) 7-е издание. М.: - Моркнига, 2021. 245 с.
13. Радкевич В.Н. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие для студентов – Минск: БНТУ, 2013. 129 с.
14. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования [Электронный ресурс]: РД 153-34.0-20.527-98: 23.03.1998. М.: НЦ ЭНАС, 2002. 131 с. URL: <https://www.elec.ru/files/013/000001404/attfile/rd-153-340-20527-98.pdf> (дата обращения: 21.06.2021).
15. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчёту электрических нагрузок [электронный ресурс] URL: <https://www.centrattek.ru/media/new/regulation/posobie-posobie-k-ukazaniiam-poraschetu-nagruzok.pdf> (дата обращения: 18.04.2021).
16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий, учебник/ Ю. Д. Сибикин – М.: Издательский центр «Академия», 2006. 368 с.
17. Федоров А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению: учеб. пособие для вузов. / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова. - М.: Энергоатомиздат, 1997. 368 с.
18. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения. М.: Лань, 2012. 480 с.
19. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. 214 с.
20. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование: М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. 407 с.
21. Школа электрика: [Сайт] URL: <http://electricalschool.info> (дата обращений 29.05.2021).

22. Alatawneh N. Effects of cable insulations' physical and geometrical parameters on sheath transients and insulation losses // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №11, pp. 95-106.

22. Banerjee G. K. Electrical and electronics engineering materials. PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 360 p.

23. Qiu L., Ouyang Y., Feng Y., Zhang X. Review on micro/nano phase change materials for solar thermal applications // Renewable Energy. 2019. №14, pp. 513-538.

24. Sahdev S. K. Basic Electrical Engineering. Pearson India, 2015 768 p.

25. Zhang Q., Tang W., Zaccour G., Zhang J. Should a manufacturer give up pricing power in a vertical information-sharing channel // European Journal of Operational Research. 2019. №276, pp. 910-928