

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 Электроснабжение производства металлоизделий

Обучающийся

Н.А. Ниезмамадов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

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

Тольятти 2022

Аннотация

Работа заключалась в проектировании системы электроснабжения производства металлоизделий.

Нагрузки в цехах завода рассчитаны расчетными методами. LED светильники взяты за основной элемент освещения предприятия, ввиду своих энергосберегающих свойств. В роли источника питания используется главная понизительная подстанция (ГПП), питаемая ВЛ 110 кВ.

Расчет и проектирование распределительной сети 10-0,4 кВ являлся одним из главных этапов работы. На заводе применены алюминиевые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. Сети НН питаются от КТП, установленных снаружи.

«Расчет токов короткого замыкания является одним из ключевых этапов, вследствие которого кабели проверяются на аварийный ток, устойчивость к перегреву и потере напряжения.

Для главной понижающей подстанции были выбраны электрическая схема и современное высоковольтное оборудование. Произведен расчет заземляющих устройств и грозозащиты подстанции» [14].

Так же были рассчитаны уставки релейной защиты питающей линии ГПП на базе микропроцессорного блока «Сириус-Д»

Заключительным этапом проектирования были рассмотрены вопрос исследования влияния автоматической частотной разгрузки в электросетях.

На чертежах формата А1 выполнены графические изображения генерального плана, нагрузок цехов, однолинейная схема ГПП, молниезащита, разрез ячейки ВН, схема электроснабжения (однолинейная).

Содержание

1	Характеристика предприятия и расчет его нагрузок.....	6
1.1	Исходные данные.....	6
1.2	Краткая характеристика производства.....	6
1.3	Категории надежности электроприемников предприятия.....	8
1.4	Определение низковольтной нагрузки предприятия.....	9
1.5	Определение осветительной нагрузки предприятия.....	13
1.6	Определение суммарной низковольтной нагрузки цехов предприятия.....	14
1.7	Определение расчетной нагрузки высоковольтных электроприемников.....	16
1.8	Суммарная нагрузка предприятия.....	16
2	Проектирование источников питания, сетей и определение токов КЗ.....	19
2.1	Построение картограммы нагрузок.....	19
2.2	Выбор трансформаторов ГПП.....	20
2.3	Расчет цеховых трансформаторных подстанций.....	21
2.4	Компенсация реактивной мощности.....	23
2.5	Проверка трансформаторов ГПП на перегрузочную способность.....	24
2.6	Проверка трансформаторов ЦТП на перегрузочную способность.....	26
2.7	Определение рациональных напряжений.....	28
2.8	Определение сечения питающей линии электропередач.....	28
2.9	Проектирование кабельных линий напряжением 10 кВ.....	29
2.10	Проектирование кабельных линий напряжением ниже 1000 В.....	30
2.11	Определение величины токов короткого замыкания.....	32
2.12	Определение сопротивлений схемы замещения.....	33
2.13	Влияние высоковольтных двигателей на токи КЗ.....	34
2.14	Проверка кабелей на термическую стойкость.....	38
2.15	Проверка кабелей распределительной сети до 1 кВ.....	40
3	Выбор оборудования подстанции.....	43

3.1	Выбор оборудования высшего напряжения ПС	43
3.2	Выбор высокочастотного заградителя	44
3.3	Выбор подвесных изоляторов.....	45
3.4	Выбор ограничителей перенапряжений	45
3.5	Выбор и проверка разъединителя	46
3.6	Выбор и проверка высоковольтных выключателей	46
3.7	Выбор и проверка трансформаторов тока в цепях линий	49
3.8	Выбор трансформатора тока в цепях силового трансформатора	49
3.9	Выбор и проверка трансформатора напряжения подстанции	50
3.10	Выбор и проверка оборудования в нейтрали трансформатора	50
3.11	Выбор и проверка шинного моста	51
3.12	Выбор и проверка выключателей низшей стороны подстанции	53
3.13	Выбор и проверка ограничителей перенапряжения НН ПС.....	53
4	Расчет защит подстанции.....	55
4.1	Расчет заземляющего устройства подстанции.....	55
4.2	Расчет грозозащиты подстанции.....	57
4.3	Дифференциальная защита трансформатора.....	59
4.4	Газовая защита трансформатора.....	61
	Заключение.....	63
	Список используемой литературы.....	64

Введение

При разработке предприятий главным фактором является проектирование рационального электроснабжения, которое будет обеспечивать надежность снабжения потребителей в соответствии с требуемым качеством и в необходимом количестве, но при этом с минимально возможными затратами.

Для решения поставленной задачи, нужно обратить внимание на некоторые моменты. Благодаря рациональному определению схемы и конструктивных решений построения системы, реализуется вопрос надежности.

С целью повышения качества электроустановки, надежности, безопасности в обслуживании и его удобстве необходимо стараться стандартизировать оборудование и применять комплектные устройства.

В этой работе собраны все интересующие теоретические и практические вопросы, решенные инженерными методами, благодаря достигнутому уровню знаний, реализация которых займет у проектировщика наименьшие затраты времени. Вопросы электроснабжения предприятия необходимо решать с учетом особенности производства и предприятия и должны быть подтверждены путем тщательного анализа.

Целью ВКР является проектирование СЭС производства металлоизделий. Предприятие работает в режиме 2-х смен, а потребители преимущественно второй категории, среда нормальная.

Проектирование будет осуществлено с учетом современных требований к электроснабжению промышленных предприятий. Итогом работы будет являться система электроснабжения производства металлоизделий, отвечающая требованиям по надежности, экономичности, безопасности и удобства эксплуатации.

1 Характеристика предприятия и расчет его нагрузок

1.1 Исходные данные к проектированию

План предприятия изображен на рисунке 1.

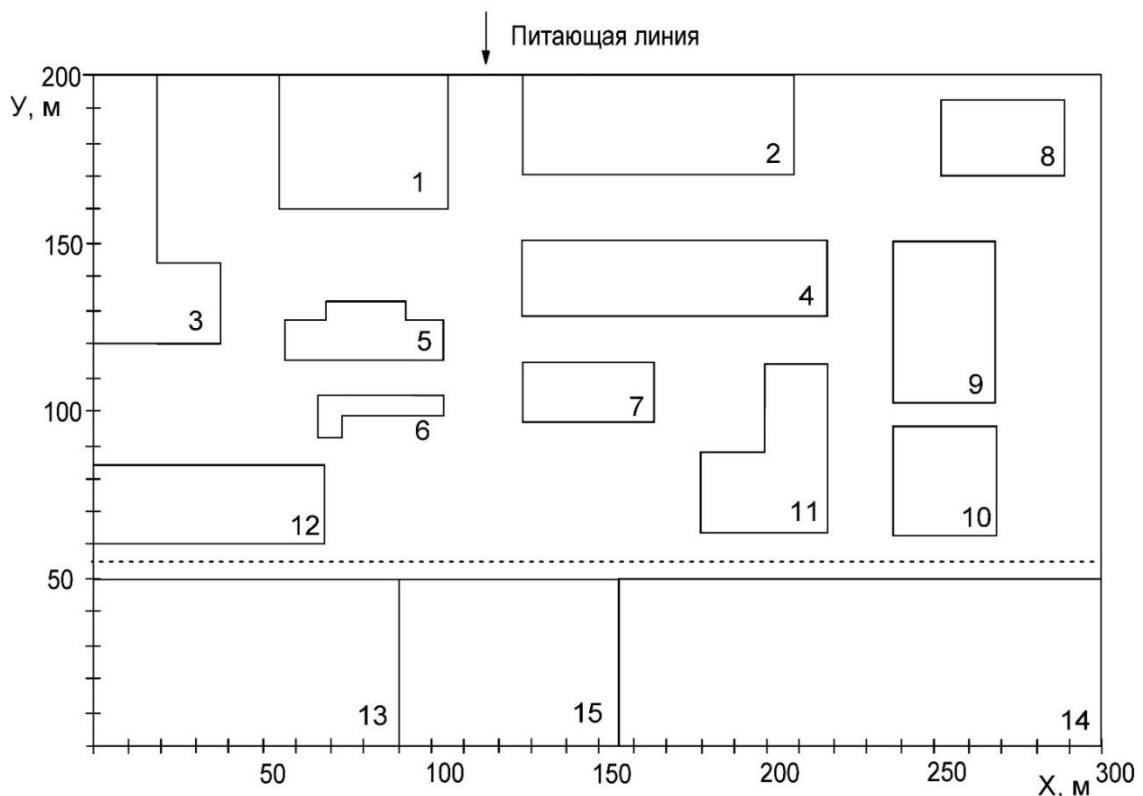


Рисунок 1 – Генеральный план производства металлоизделий

Мощность питающей системы: $S_H = 500$ МВа;

Сопротивление системы, приведенное к ее мощности: $x_H^* = 1,2$

Расстояние от подстанции энергосистемы до завода: $l = 5,3$ км.

1.2 Краткая характеристика технологического процесса

«Изделия из металла сегодня применяются в самых разных сферах деятельности человека, в том числе в строительстве, причём с их помощью

имеется возможность выполнить поставленную строительную задачу максимально быстро и эффективно. Речь идёт о том, что в строительстве в последнее время всё чаще используются металлоконструкции, которые удобны, выгодны и эффективны в процессе выполнения поставленных задач» [14].

«К металлическим изделиям относят – сетки, канаты из стали, профили с разной формой поперечного сечения, крепежные материалы (шайбы, гайки, болты) которые используют для соединения металлических частей» [22].

«Перед обработкой металл заливается в формы-изложницы, в результате чего получаются слитки, которые проходят дальнейшую обработку давлением» [14].

«Существует несколько видов такой обработки. Прокат. Самый простой и не затратный способ. Металлические заготовки обжимаются между вращающимися валами и приобретают заданное сечение и форму. Прокатывают холодный или нагретый металл, все зависит от его свойств» [14].

«Ковка. Заготовкам придают форму под воздействием ударов молота или прессом. Разновидностью ковки является штамповка, когда металл под воздействием ударов заполняет форму определенной конфигурации» [22].

«Волочение. Заготовку протягивают через отверстие, меньше чем сечение самой заготовки. Получается прочная деталь, которая соответствует форме отверстия» [22].

«Характеристику окружающей среды производственных помещений и классы опасности помещений отобразим в таблице 1» [4].

Таблица 1 –Классы взрыво- и пожароопасности помещений

№ на плане	Наименование цеха	Класс взрыво- и пожароопасности	Характер окружающей среды
1	Столовая	-	нормальная
2	Административный корпус	-	нормальная
3	Термическое отделение	B-Ia	жаркая

Продолжение таблицы 1

№ на плане	Наименование цеха	Класс взрыво- и пожароопасности	Характер окружающей среды
4	Станочное отделение		нормальная
5	Насосная	В-Ia	нормальная
6	Компрессорная	-	нормальная
7	Цех для горюче-смазочных материалов	В-Ia	нормальная
8	Цех технического контроля	-	нормальная
9	Цех сборки и сварки металлических конструкций	В-Ia	нормальная
10	Конструкторское бюро	-	нормальная
11	Цех окраски	В-Ia	нормальная
12	Ремонтно-механический цех	-	нормальная
13	Склад готовой продукции	-	нормальная
14	Склад сырья	-	нормальная
15	Цех контрольной сборки	-	нормальная

1.3 Категория надежности электроприемников

«Категория надежности электроснабжения отдельных цехов определена исходя из принадлежности цеха к основному или вспомогательному производству» [6].

«Классификация производственных помещений и цехов по требованиям к надежности электроснабжения, представлена в таблице 2» [4].

Таблица 2 – Характеристика электроприемников по надежности электроснабжения

№ на плане	Наименование цеха	Категория надежности
1	Столовая	3
2	Административный корпус	3
3	Термическое отделение	1
4	Станочное отделение	2
5	Насосная	1
6	Компрессорная	1
7	Цех для горюче-смазочных материалов	2
8	Цех технического контроля	3
9	Цех сборки и сварки металлических конструкций	2
10	Конструкторское бюро	3

Продолжение таблицы 2

№ на плане	Наименование цеха	Категория надежности
11	Цех окраски	1
12	Ремонтно-механический цех	3
13	Склад готовой продукции	3
14	Склад сырья	3
15	Цех контрольной сборки	3

1.4 Определение низковольтной нагрузки предприятия

«Параметры электроприёмников представлены в таблице 3» [12].

Таблица 3 - Параметры электроприёмников

Наименование оборудования	n,т	P _н ,кВт	Одного P _н мин÷ P _н мах	k _и	cosφ	tgφ
Электрическая сварка	16	431,32	25÷50	0,3	0,6	1,333
Универсальные станки	52	184,69	0,6÷10	0,14	0,5	1,732
Печи сопротивления, электрические печи	16	287,90	1,1÷70	0,5	0,95	0,329
Специализированные и агрегатные станки	40	275,45	1÷15,7	0,17	0,65	1,169
Преобразователи	6	40,00	4÷14	0,7	0,8	0,75
Вентиляторы	15	77,40	2,8÷7	0,8	0,8	0,75
Краны, кран-балки, тельферы	7	57,30	2÷36	0,06	0,5	1,732
Итого	52	1354,06	-	0,3	-	-

«Расчет выполняется по форме «Ф 636-92», все приемники цеха группируются по характерным категориям с одинаковыми K_и и tgφ» [23].

Определение установленной мощности ЭП указывается в столбце 3.

$$P_n = \sum (p_n \cdot n_i), \quad (1)$$

Расчет группового КИ:

$$K_{\text{и}} = \frac{\Sigma P_{\text{см}}}{\Sigma P_{\text{н}}} = \frac{439,39}{1354,06} = 0,3. \quad (2)$$

Вычисление эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \Sigma P_{\text{н}}}{P_{\text{н max}}} = \frac{2 \cdot 1354,06}{70} = 38,68. \quad (3)$$

Рассчитаем активную РН:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{р}} \cdot P_{\text{см}} = 439,39 \cdot 0,75 = 329,54 \text{ кВт}. \quad (4)$$

Рассчитаем реактивную РН. При $n_{\text{э}} > 10$:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{см}} = 392,77 \text{ кВАр}. \quad (5)$$

Рассчитаем полную РМ:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2} = \sqrt{329,54^2 + 392,77^2} = 512,70 \text{ кВА}, \quad (6)$$

Расчетный ток:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{512,7}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 778,97 \text{ А}. \quad (7)$$

где $U_{\text{н}}$ – напряжение сети.

Расчеты показан в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Определение расчетной нагрузки силовых электроприемников РМЦ

Исходные данные				Расчетные величины		Расчетная мощность	Расчетный ток							
По заданию			Справочные данные					Активная, кВт	Реактивная, кВАр	Полная, кВА				
Наименование ЭП	Кол-во ЭП, n шт	Номинальная мощность ЭП, кВт		Ки	cosφ						tgφ	Pн	·рн· tgφ	
		Общая Pн	Одного Pнмин- Pнмах			$P_p = K_p \cdot K_n \cdot P_n$	$Q_p = 1,1 \cdot K_n \cdot P_n \cdot \text{tg}\phi$	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}$					
Станки универсальные ЧПУ	2	184,69	0,6-10	0,14	0,5					1,732	25,86	44,78	8	0,75
Станки спецназначения УЗ	40	275,45	1-15,7	0,17	0,65	1,169	46,83	54,75						
Вентиляторы	15	77,40	2,8-7	0,8	0,8	0,75	61,92	46,44						
Краны, кран-балки, тельферы	7	57,30	2-36	0,06	0,5	1,732	3,44	5,95						
Преобразователи	6	40,00	4-14	0,7	0,8	0,75	28,00	21,00						
Печи сопротивления, электрические печи	16	287,90	1,1-70	0,5	0,95	0,329	143,95	47,31						
Электрическая сварка КТ-201	16	431,32	25-50	0,3	0,6	1,333	129,40	172,53						
ИТОГО	152	1354,06	-	0,3	-	-	439,4	392,8						

Таблица 5 – Расчетная нагрузка силовых низковольтных электроприемников

№ на плане	Наименование цеха	P_n , кВт	Длина, м	Ширина, м	S , м ²	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВАр
1	Столовая	150	50	40	2000	0,9	0,48	75	36,32
2	Административный корпус	200	80	30	2400	0,5	1,73	80	138,56
3	Термический цех	1400	38	80	3040	0,7	1,02	780,57	374,7
4	Станочный цех	900	90	24	2160	0,7	1,02	390,3	398,3
5	Насосная	120	48	18	864	0,9	0,48	84	40,68
6	Компрессорная	580	38	14	532	0,8	0,75	406	304,50
7	Цех для горюче-смазочных материалов	650	40	18	720	0,8	0,75	322,14	241,605
8	Цех технического контроля	320	38	24	912	0,14	0,48	138,8	141,5
9	Цех сборки и сварки металлических конструкций	1300	32	50	1600	0,8	0,75	581,4	360,5
10	Конструкторское бюро	310	31	33	1023	0,7	1,02	134,4	100,8
11	Цех окраски	700	38	51	1938	0,85	0,62	346,92	260,2
12	Ремонтно-механический цех		70	25	1750			329,54	392,77
13	Склад готовой продукции	140	92	50	4600	0,65	1,17	28	21,00
14	Склад сырья	430	66	50	3300	0,65	1,17	86	100,55
15	Цех контрольной сборки	260	144	50	7200	0,5	1,73	104	180,13
Всего								3887,07	3092,12

1.5 Определение величины осветительной нагрузки предприятия

«Расчетная нагрузка от осветительной установки может быть определена методом удельной мощности осветительной установки на единицу производственной площади цехов» [12].

«Последовательность расчета состоит из сбора сведений об объекте и определения мощности осветительной установки» [12].

«Для насосной (цех №5) длиной $A = 48$ м, шириной $B = 18$ м и высотой $H = 10$ м требуется выбрать лампу для создания освещенности $E = 200$ лк при коэффициенте запаса равном $k_3 = 1,1$. Высота рабочей поверхности равна $h_p = 0,8$ м, $h_c = 0,5$ м – высота свеса светильника. Коэффициенты отражения для помещения по источнику равны: $p_n = 50\%$; $p_c = 30\%$; $p_p = 100\%$ » [9].

«По таблице источника определяем коэффициент использования $k_{и} = 0,55$. Коэффициент запаса для LED светильников принимаем равным $k_3 = 1,1$. Коэффициент неравномерности освещения $z = 1,1$ » [9].

«Определим световой поток лампы по формуле» [12]:

$$F = \frac{E_{\min} \cdot Z \cdot S_{AB} \cdot K_3}{N \cdot K_{и}} = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot (48 \cdot 18) \cdot 1,1}{10 \cdot 0,55} = 35640 \text{ лм}, \quad (8)$$

«По каталогу производителя светильников выбираем ближайшую подходящий светильник LED серии: «ДИУС-280 М» мощностью 0,280 кВт с мощностью светового потока равного $E = 38000$ лм» [10].

«Несоответствие расчетного и светового потоков» [12]:

$$\Delta F = \frac{F_{\text{лампы}} - F_{\text{расч}}}{F_{\text{лампы}}} \cdot 100\% = \frac{38000 - 35640}{38000} \cdot 100\% = 6,2\% \quad (9)$$

«Отклонение светового потока укладывается в допустимые пределы $-10\% \dots + 20\%$ » [12].

1.6 Определение суммарной низковольтной нагрузки цехов предприятия

«Низковольтная нагрузка цехов определяется суммированием силовой и осветительной нагрузок» [6]. Результаты в таблице 6 и 7.

Таблица 6 – Определение осветительной нагрузки предприятия

№ на плане	Наименование цеха	a, м	b, м	S, м ²	Тип лампы	E _н ,	Коэф фф К _и	F _{рас} , м	F _{ном} , Лм	ΔF, %	P _{p.o} , кВт	tgφ, осв.	Q _{p.o} , кВАр
						Лк							
1	Столовая	50	40	2000	LED	300	0,85	394 2	4000	1,4	6,72	0,20	1,36
2	Админ. корпус	80	30	2400		300	0,85	384 4	4000	3,9	8,27	0,20	1,68
3	Термич. цех	38	80	3040		300	0,85	379 6	4000	5,1	10,60	0,20	2,15
4	Станочный цех	90	24	2160		200	0,71	245 41	2450 0	0,2	6,00	0,20	1,22
5	Насосная	48	18	864		200	0,55	356 40	3800 0	6,2	2,99	0,20	0,61
6	Компрессорная	38	14	532		200	0,51	298 94	2800 0	6,8	1,77	0,20	0,36
7	Цех для горюче-смазочных материалов	40	18	720		200	0,55	356 40	3800 0	6,2	2,49	0,20	0,51
8	Цех технического контроля	38	24	912		200	0,65	268 06	2800 0	4,3	2,66	0,20	0,54
9	Цех сборки и сварки металлических конструкций	32	50	1600		200	0,71	255 63	2800 0	8,7	4,48	0,20	0,91
10	Конструкт. бюро	31	33	1023		200	0,65	276 44	2800 0	1,3	2,89	0,20	0,59
11	Цех окраски	38	51	1938		200	0,73	253 60	2800 0	9,4	5,32	0,33	1,75
12	Ремонтно-механический цех	70	25	1750		300	0,68	400 37	3800 0	5,4	6,53	0,33	2,15
13	Склад готовой продукции	92	50	4600		75	0,85	266 9	1200	122, 4	3,31	0,20	0,67
14	Склад сырья	66	50	3300		75	0,85	266 9	1200	122, 4	2,38	0,20	0,48

Продолжение таблицы 6

№ на плане	Наименование цеха	a, м	b, м	S, м ²	Тип лампы	E _н , Лк	Кэф ф К _н	F _{рас} , м	F _{ном} , Лм	ΔF, %	P _{p.o} , кВт	tgφ, осв.	Q _{p.o} , кВАр
15	Цех контрольной сборки	144	50	7200	LED	200	0,84	21607	23200	6,9	7,28	0,20	3,51
-	Освещения территории	200	300	2000		5	0,85	4449	4600	3,3	3,84	0,33	1,26
-	ИТОГО:	-	-	-		-	-	-	-	-	-	87,53	-

Таблица 7 – Расчетные силовая и осветительная низковольтная нагрузка цехов предприятия

№ на плане	Наименование цеха	P _н , кВт	P _{p.o} , кВт	Q _{p.o} , кВАр	P _p , кВт	Q _p , кВАр	P _{p+P_o} , кВт	Q _{p+Q_o} , кВАр	S _{p+o} , кВА
1	Столовая	150	6,72	1,36	75	36,32	81,72	37,68	89,99
2	Администр. корпус	200	8,27	1,68	80	138,56	88,27	140,24	165,711
3	Термич. цех	1400	10,6	2,15	780,37	374,7	791,17	376,85	876,34
4	Станочный цех	900	6	1,22	390,3	398,3	396,3	399,52	562,734
5	Насосная	120	2,99	0,61	84	40,68	86,99	41,29	96,293
6	Компресс-я	580	1,77	0,36	406	304,50	407,77	304,86	509,133
7	Цех для горюче-смазочных материалов	650	2,49	0,51	322,14	241,605	324,63	242,12	404,974
8	Цех технич. контроля	320	2,66	0,54	138,8	141,5	141,46	142,04	201,17
9	Цех сборки и сварки металлич. конструкций	1300	4,48	0,91	581,4	360,5	585,88	361,4	688,38
10	Конструкт. бюро	310	2,89	0,59	134,4	100,8	137,29	101,4	170,67
11	Цех окраски	700	5,32	1,75	346,92	260,2	352,24	261,9	439
12	Ремонтно-механич. цех		6,53	2,15	329,54	392,77	336,07	394,9	518,56
13	Склад готовой продукции	140	3,31	0,67	28	21,00	31,31	21,67	38,078
14	Склад сырья	430	2,38	0,48	86	100,55	88,38	101,1	134,23

Продолжение таблицы 7

№ на плане	Наименование цеха	P_n , кВт	$P_{p.o.}$, кВт	$Q_{p.o.}$, кВАр	P_p , кВт	Q_p , кВАр	P_p+P_o , кВт	Q_p+Q_o , кВАр	$S_{p.o.}$, кВА
15	Цех контрольной сборки	260	17,28	3,51	104	180,13	121,28	183,6	220,07
	Наружное освещение	—	3,84	1,26	—	—	3,84	1,26	4,0414
	Итого:	—	87,53	19,74	3887,07	3092,12	3974,6	3111,87	5119,1

1.7 Определение расчетной нагрузки высоковольтных электроприемников

К ЭП высокого напряжения относятся:

«Асинхронные двигатели насосной установки:

6 шт 1ВАО-450S-4ДУ2,5 200 кВт 10 кВ, КПД 92,5%, $\cos\varphi = 0,9$, $\operatorname{tg}\varphi = -0,48$ » [15].

«Синхронные двигатели компрессорной установки:

2 шт ДСВ/800/10/12УХЛ4 800 кВт 10 кВ, КПД 94,5%, $\cos\varphi=0,9$, $\operatorname{tg}\varphi = -0,48$ » [8].

Для высоковольтных ЭП расчет показан в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет нагрузки высоковольтных электроприемников

№ на плане	Наименование цеха	P_n , кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	K_z	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
5	Насосная (10 кВ)	1200	0,9	0,48	0,8	960	460,8	1064,86
6	Компрессорная (10 кВ)	1600	0,9	-0,48	0,8	1280	-614,4	1419,82
	Всего	3100	—	—	—	2240	-153,6	2484,68

1.8 Суммарная нагрузка предприятия

«Суммарная расчетная активная нагрузка» [6]:

$$\begin{aligned}
P_p &= \Sigma P_{p\text{HH}} \cdot K_{p.m} + \Delta P_T + \Delta P_L + \Sigma P_{p\text{ВН}} \\
&= 3974,6 \cdot 0,9 + 102,351 + 189,509 + 2240 \\
&= 6\ 109 \text{ кВт},
\end{aligned}
\tag{10}$$

где « $\Sigma P_{p\text{HH}}$ – суммарная расчетная активная нагрузка потребителей с номинальным напряжением 0,4 кВ;
 $K_{p.m}$ – коэффициент одновременности максимумов нагрузки;
 ΔP_T – примерные потери активной мощности в трансформаторах» [7].

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot \Sigma S_{p\text{HH}} = 0,02 \cdot 5117,56 = 102,351 \text{ кВт}, \tag{11}$$

где « $\Sigma S_{p\text{HH}} = 5117,56 \text{ МВА}$ – полная мощность потребителей с номинальным напряжением ниже 1 кВ;
 ΔP_L – потери активной мощности в кабельных линиях» [7].

«Суммарная расчетная реактивная нагрузка» [7]:

$$\begin{aligned}
Q_p &= \Sigma Q_{p\text{HH}} \cdot K_{p.m} + \Delta Q_T + \Delta Q_L + \Sigma Q_{p\text{ВН}} = \\
&= 3111,87 \cdot 0,9 + 511,7 + 104,101 - 153,6 = \\
&= 3262,94 \text{ кВАр},
\end{aligned}
\tag{12}$$

где « $\Sigma Q_{p\text{HH}}$ – суммарная расчетная реактивная нагрузка потребителей с номинальным напряжением 0,4 кВ;
 ΔQ_T – потери реактивной мощности в трансформаторах» [7].

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot \Sigma S_{p\text{HH}} = 0,1 \cdot 5117,56 = 511,7 \text{ кВАр}, \tag{13}$$

где « ΔQ_L – потери реактивной мощности в линиях» [7];

$$\begin{aligned}
\Delta Q_L &= 0,03 \cdot \Sigma (Q_{p\text{HH}} + Q_{p\text{ВН}} + \Delta Q_T) = 0,03 \cdot (3111,87 - \\
&153,6 + 511,7) = 104,101 \text{ кВАр},
\end{aligned}
\tag{14}$$

где « $\sum Q_{рвн}$ – суммарная расчетная реактивная нагрузка потребителей с номинальным напряжением выше 1 кВ, определяемая по таблице 14» [6].

«Суммарная нагрузка предприятия определяется» [7]:

$$S_p = \sqrt{6109^2 + 3262,94^2} = 6925,8 \text{ кВА.}$$

Вывод по разделу.

В данном разделе была дана краткая характеристика как самого предприятия, так и его технического процесса. Были распределены и обозначены номера и наименования цехов, выяснена характеристика условий окружающей среды последних, в соответствии с чем, каждому цеху была присвоена категория надежности, в соответствии с требованиями ПУЭ. Также, важным фактором производства является количество и мощность каждого из электроприемников, которая указана в паспортных данных последних. Дальнейшей задачей было выяснить суммарную нагрузку предприятия, которая влияет на дальнейший расчет нашего предприятия.

Для того, чтобы узнать нагрузку данного предприятия в целом, сначала необходимо определить такие параметры, как низковольтная и осветительная нагрузки, а также знать расчетную нагрузку высоковольтных электроприемников. При расчете каждой из этих составляющих, в конечном итоге была получена суммарная нагрузка всего предприятия, позволяющая приступить к проектированию данного производства, распределению источников питания, прокладке сетей и дальнейшим расчетам.

2 Проектирование источников питания, сетей и определение токов короткого замыкания

2.1 Построение картограммы нагрузок

«Картограмма нагрузок представляет собой окружности, радиусом, пропорциональным мощности нагрузки соответствующего цеха с привязкой к местоположению цеха.

Картограмма нагрузок предназначена для визуализации мощности отдельных цехов» [6].

Для цеха №1 – «Столовая»:

Определим радиус окружности, см:

$$r_i^2 = \sqrt{\frac{P_{p+oi}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{81,72}{\pi \cdot 0,2}} = 11,41 \text{ см}, \quad (14)$$

где P_i – РН цеха, по таблице 13;

m – масштаб, выбранный 0,2

Расчет других цехов указан в таблице 9.

«Поскольку центр электрических нагрузок территориально располагается в неподходящем, для размещения ГПП месте, то смещаем место расположения ГПП в направлении источника питания» [16].

Таблица 9 – Данные для построения картограммы нагрузок

№ на плане	Наименование цеха	X _i , м	Y _i , м	P _p ·X _i , кВт·м	P _p ·Y _i , кВт·м	r, см	α, град	P _p ·o', кВт	P _p +P _o , кВт
1	Столовая	75	180	6129	14709,60	11,4 1	29,6 0	6,72	81,72
2	Административный корпус	170	185	15005,9	16329,95	11,8 6	33,7 3	8,27	88,27
3	Термический цех	20	160	2988	23904,00	15,4 2	1,22	10,6	791,17
4	Станочный цех	175	140	69352,5	55482,00	25,1 2	5,45	6	396,3
5	Насосная	80	120	6959,2	10438,80	11,7 7	12,3 7	2,99	86,99
6	Компрессорная	70	100	28543,9	40777,00	25,4 8	1,56	1,77	407,77
7	Цех для горюче-смазочных материалов	145	110	47071,3 5	35709,30	22,7 4	2,76	2,49	324,63
8	Цех технического контроля	270	180	211472,1	140981,4 0	35,3 2	25,5 4	2,66	141,46
9	Цех сборки и сварки металлических конструкций	250	125	87850	43925,00	23,6 5	3,26	4,48	585,88
10	Конструкторское бюро	250	75	34322,5	10296,75	14,7 9	7,58	2,89	137,29
11	Цех окраски	200	80	117344	46937,60	30,5 7	4,59	5,32	352,24
12	Ремонтно-механический цех	30	70	10082,1	23524,90	23,1 3	6,99	6,53	336,07
13	Склад готовой продукции	45	25	1408,95	782,75	7,06	38,0 6	3,31	31,31
14	Склад сырья	225	25	19885,5	2209,50	11,8 6	9,69	2,38	88,38
15	Цех контрольной сборки	125	25	15160	3032,00	13,9	51,2 9	17,2 8	121,28
	Всего	–	–	673575	469040,5	–	–	87,5 3	3974,6

2.2 Выбор трансформаторов ГПП

«Для преобразования и распределения электроэнергии, получаемой от энергосистем, в системах электроснабжения промышленных предприятий используют главные понизительные подстанции (ГПП)» [16].

«Мощность трансформаторов ГПП определим по формуле, кВА:

$$S_{\text{оп}} = \frac{S_p}{K_3 \cdot n} = \frac{6925,8}{0,7 \cdot 2} = 4947 \text{ кВА.} \quad (15)$$

где S_p – РМ производства, кВА;

K_3 - коэффициент загрузки трансформатора, $K_3=0,7$;

n - количество трансформаторов на ПС» [2].

«Предварительно, без учета компенсации реактивной мощности, выбираем два трансформатора ТМГ–6300/110/10.

Коэффициент фактической загрузки составит» [2]:

$$k_3 = \frac{S_p}{S_{\text{нт}} \cdot n} = \frac{6925,8}{6300 \cdot 2} = 0,55. \quad (16)$$

2.3 Расчет цеховых трансформаторных подстанций

Результаты расчета приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов

№ цеха	Категория надежности	№ ТП	Число трансформато р	Количество ТП	Выбор мощности трансформаторов					Питание от ТП	Оптимизация расположения ЦТП				
					P_p+P_o , кВт	Q_p+Q_o , кВАр	S_{op} , кВА	$S_{нт}$, кВА	K_3 факт		$\Sigma P_{ТП}$, кВт	$\Sigma Q_{ТП}$, кВАр	S_{op} , кВА	$S_{нт}$, кВА	K_3 факт
1	3	1	1	1	81,72	37,68	64,28	100,00	0,45	1	872,89	414,53	690,23	630	0,77
2	3	2	1	1	88,27	140,24	118,36	250,00	0,33	2	309,73	420,85	746,48	630	0,83
3	2	3	2	1	791,17	376,85	148,04	160,00	0,65	1	—	—	—	—	—
4	2	4	2	1	396,3	399,52	401,95	630,00	0,45	3	—	—	—	—	—
5	2	5	2	1	86,99	41,29	68,78	100,00	0,48	3	483,29	440,81	467,24	630	0,52
6	2	6	2	1	407,77	304,86	363,67	400,00	0,64	5	407,77	304,86	363,67	400	0,64
7	3	7	1	1	324,63	242,12	289,27	250,00	0,81	6	324,63	242,12	289,27	250	0,81
8	3	8	1	1	141,46	142,04	620,34	630,00	0,69	2	—	—	—	—	—
9	2	9	2	1	585,88	361,41	312,71	400,00	0,55	4	585,88	361,41	491,70	400	0,86
10	3	10	1	1	137,29	101,39	121,91	160,00	0,53	7	—	—	—	—	—
11	2	11	2	1	352,24	261,95	985,06	1000,00	0,69	7	706,91	615,18	669,36	630	0,74
12	3	12	1	1	336,07	394,92	740,80	1000,00	0,52	8	488,66	600,23	1105,71	1000	0,77
13	3	13	1	1	31,31	21,67	54,40	160,00	0,24	8	—	—	—	—	—
14	3	14	1	1	88,38	101,03	95,88	250,00	0,27	7	—	—	—	—	—
15	3	15	1	1	121,28	183,64	157,20	160,00	0,69	8	—	—	—	—	—

2.4 Компенсация реактивной мощности

«Будем считать $\text{tg}\varphi_{э.н} = 0,5$ на ВН» [2];

«Наибольшее значение реактивной мощности для ТП1 определяется по формуле» [2]:

$$Q_T = \sqrt{(S_{нт} \cdot n_T \cdot k_{з.норм})^2 - P_p^2} = \sqrt{(630 \cdot 2 \cdot 0,7)^2 - 414,53^2} = 778,5 \text{ кВАр} \quad (17)$$

«Где $k_{з.норм}$ – нормативный коэфф. загрузки трансформаторов;

n_T - число трансформаторов;

$S_{нт}$ – номинальная мощность трансформаторов» [2].

«Мощность низковольтного компенсирующего устройства» [2]:

$$Q_{нк} = Q_p - Q_T, \text{ кВАр}, \quad (18)$$

где Q_p – реактивная РН ЦТП по таблице 10.

Для остальных ТП расчеты приведены в таблице 11.

Таблица 11 — Определение мощности компенсирующих устройств

№ ТП	n	$\sum P_{ТП}$, кВт	$\sum Q_{ТП}$, кВт	$S_{нт}$, кВА	$k_{з.норм}$	$Q_{тр}$, кВАр	$Q_{нк}$, кВАр
1	2	872,89	414,53	630	0,70	1055,52	-363,97
2	1	309,73	420,85	630	0,90	795,54	-145,77
3	2	483,29	440,81	630	0,70	737,80	-296,99
4	2	585,88	361,41	400	0,70	436,03	-66,35
5	2	407,77	304,86	400	0,70	383,83	-78,97
6	2	324,63	242,12	250	0,70	130,83	-10,6
7	2	706,91	615,18	630	0,70	1140,19	-16,86
8	1	488,66	600,23	1000	0,90	755,79	-155,55

2.5 Проверка трансформаторов ГПП на перегрузочную способность

«Проверка трансформаторов ГПП на систематическую перегрузку» [2].

«Коэффициент обеспеченности трансформатора мощностью в нормальном режиме определяется согласно формуле» [2]:

$$K_{\text{нт}}^* = \frac{S_{\text{н.т.}} \cdot n}{S'_p} = \frac{6300 \cdot 2}{6641,49} = 1,897. \quad (19)$$

где « $S_{\text{н.т.}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА» [2];

« S'_p – расчетная мощность предприятия с учетом компенсации реактивной мощности, кВА» [2];

« n – количество трансформаторов на подстанции» [2].

« $K_{\text{нт}}^* > 1$, трансформатор подстанции не испытывает систематических перегрузок» [2].

«Проверка трансформаторов ГПП на аварийную перегрузку.

Определим номинальную мощность трансформатора ГПП в относительных единицах во время аварийной перегрузки $K_{\text{нт}}^*$, согласно (19) для одного трансформатора ($n = 1$)» [2]:

$$K_{\text{нт}}^* = \frac{6300}{6641,49} = 0,949.$$

«Так как значение коэффициента меньше единицы, то трансформатор испытывает аварийные перегрузки, поэтому на график наносим линию с ординатой 0,949 (рисунок 2).

Предварительное время аварийной перегрузки составляет 8 часов» [2].

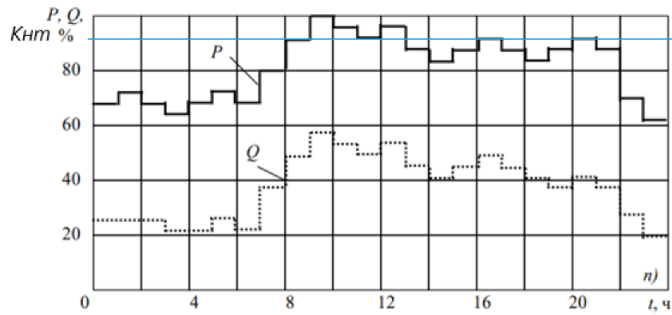


Рисунок 2 – Суточный график нагрузки

«Коэффициент начальной загрузки в аварийном режиме определим по формуле» [6]:

$$K_{1ав} = \frac{1}{K_{HT}^*} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{t < t_{п.ав}} (S_i^*)^2 \cdot t_i}{\sum_{t < t_{п.ав}} t_i}}, \quad (20)$$

$$K_{1ав} = 0,864.$$

«Предварительный коэффициент аварийной перегрузки определим по формуле» [6]:

$$K_{2ав} = \frac{1}{K_{HT}^*} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{t=t_{п.ав}} (S_i^*)^2 \cdot t_i}{\sum_{t=t_{п.ав}} t_i}}, \quad (21)$$

$$K_{1ав} = \frac{1}{0,9} \cdot \sqrt{\frac{0,96^2 \cdot 2 + 0,95^2 + 1}{4}} = 1,063.$$

«Определение максимального коэффициента перегрузки $K_{max ав}$ в аварийном режиме» [6]:

$$K_{\text{мах.ав}} = \frac{S'_{\text{мах}}}{S_{\text{НОМ}}} \frac{6641,49}{6300} = 1,05. \quad (22)$$

Проверим выполнение условия:

$$K_{2\text{ав}} \geq 0,9 \cdot K_{\text{мах.ав}}; 1,063 \geq 0,9 \cdot 1,05. \quad (23)$$

Условие выполняется, поэтому:

$$K_{2\text{ав}}' = 1,063.$$

«По таблицам ГОСТ аварийных перегрузок и системы охлаждения трансформатора, находим допустимый коэффициент перегрузки» [6]:

$$K_{2 \text{ доп.ав}} = 1,6.$$

«Осуществим проверку по выражению» [6]:

$$K_{2\text{ав}}' \leq K_{2 \text{ доп.ав}}; 1,063 \leq 1,6 \quad (24)$$

Неравенство соблюдено, оборудование соответствует ожидаемым результатам проверки.

2.6 Проверка трансформаторов ЦТП на перегрузочную способность

Систематически перегружаться могут только ЦТП с одним трансформатором. В нашем расчете это ТП №2 и №8:

$$K_{\text{нт2}}^* = \frac{630}{522,54} = 1,2;$$

$$K_{\text{нт8}}^* = \frac{1000}{774} = 1,29;$$

Коэффициент больше 1, следовательно, перегрузок нет.

«Трансформаторы цеховых ТП допускается проверять на аварийную перегрузку упрощенно.

Время перегрузки h , принимают в зависимости от количества смен в течение которых работает цех на основании» [3].

«При двухсменной работе ТП№1, питаемых число часов перегрузки, составит 8 ч.

Определяем для Оренбурга $to.c = 12,0$ коэффициент допустимой аварийной перегрузки для трансформаторов с системой охлаждения М - К2 = 1,6» [18].

«Коэффициент аварийной перегрузки составит» [3]:

$$K'_2 = \frac{966,32}{630} = 1,53.$$

Коэффициент меньше 1,6, неравенство удовлетворено.

Результаты для других ЦТП рассчитаны и указаны в таблице 12.

Таблица 12 – Проверка трансформаторов ЦТП на аварийную перегрузку

№ ТП	S _{нт} , кВА	h, ч	K ₂	Sp. кВА	K' ₂	S' _{нт} , кВА	k'з факт
1	630	8	1,6	966,32	1,53	630	0,77
3	630	8	1,6	654,13	1,04	630	0,52
4	400	8	1,6	688,38	1,72	630	0,55
5	400	8	1,6	509,13	1,27	400	0,64
6	250	8	1,6	404,97	1,62	400	0,51
7	630	8	1,6	937,1	1,49	630	0,74

2.7 Определение рациональных напряжений

«Следует стремиться проектировать систему электроснабжения на доступном большем напряжении. Например, при одинаковой доступности электроэнергии на напряжении 35 и 110 кВ предпочтение следует отдавать большей величине. В каждом случае требуется обоснование рационального напряжения, посредством известного инженерного расчета» [24].

«По нашим данным ($P = 6,6$ кВт; $L = 5,3$ км) Наиболее распространенной в литературе является формула Стилла. Рациональное напряжение определяется в кВ» [24]:

$$U_{\text{рац}} = 4,34 \cdot \sqrt{l + 16P} = 4,34 \cdot \sqrt{5,3 + 16 \cdot 6,6} = 45,704 \quad (25)$$

Принимается большее стандартное номинальное напряжение 110 кВ.

«Для питания ГПП завода принимается стандартное номинальное напряжение 110 кВ. Выбор данного напряжения обуславливается преимуществом к прогрессивным проектным решениям, обеспечивающим снижение ресурсных, трудовых и капитальных затрат при строительстве и эксплуатации» [24].

2.8 Определение сечения питающей линии электропередач

«От источника до приемника электроэнергия передается по ВЛ марки АС» [20]. «Следует уточнить, что при $U_n 110$ кВ, провода допускаются с сечением не менее 120 мм^2 . Принимаем провод АС – 120 с $I_{\text{доп.}} = 390 \text{ А}$ » [20].

«Если одна из цепей выведена, то осуществляется проверка по длительно-допустимому току» [20]:

$$I_{\text{д, доп}} \geq I_{\text{ав}}, \text{ А.} \quad (26)$$

«Длительно-допустимый ток определяется по формуле» [20]:

$$I_{\text{дл.доп}} = I_{\text{доп}} \cdot \sqrt{\frac{70 - v_0}{45}} = 390 \cdot \sqrt{\frac{70 - 12}{45}} = 456 \text{ А.} \quad (27)$$

где $v_0 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ – эквивалентная температура окружающей среды для г. Оренбурга;

$I_{\text{ав}}$ – токовая нагрузка проводника в аварийном режиме.

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_p, \text{ А} = 2 \cdot 17,43 = 34,86 \text{ А.} \quad (28)$$

$456 \text{ А} > 34,86 \text{ А}$ - условие выполняется.

2.9 Проектирование кабельных линий напряжением 10 кВ

«Кабели выбираются:

- по напряжению установки» [6]

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} = U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ.} \quad (29)$$

«- по конструкции;

Для питания цеховых ТП выбираются марки АПвВ, АВВГ» [6];

«- по экономической плотности тока по формуле (26).

Выбранные кабели проверяются по допустимому току» [6]:

$$I_{\text{дл доп}} \geq I_{\text{ав}}, \text{ А;} \quad (30)$$

$$I_{\text{дл доп}} = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{\text{доп}}, \text{ А;} \quad (31)$$

«Ток $I_{\text{доп}}$, принимается согласно и поправочные коэффициенты K_1 и K_2 определяются по и ПУЭ» [21].

Проверку следует выполнять по термической стойкости к токам КЗ по условию:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \text{ мм}^2; \quad (32)$$

«где B_k – тепловой импульс;

C – температурный коэффициент, принимаемый согласно» [14].

Для кабеля от ГПП до ТП 1:

$$I_p = 966,32 / (2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10) = 27,9 \text{ А.} \quad (33)$$

2.10 Проектирование кабельных линий напряжением ниже 1000 В

«Для кабельных линий напряжением 0,4 кВ принимаются к установке кабели марки ВВГ, способ прокладки в траншее.

Сечение кабельных линий производственной сети напряжением ниже 1000 В выбирают по нагреву длительным расчётным током» [6].

Результаты показаны в таблице 13.

Таблица 13 – Выбор кабельных линий распределительной сети завода

Участок	$S_{уч}$, кВА	n	Прокладка	Марка	Uн, кВ	$j_{эк}$, А/мм	I_p , А	$F_{эк}$, мм	F, мм	$I_{доп.таб}$, А	$K_{п1}$	$K_{п2}$	$I_{дл.доп}$, А	$I_{ав}$, А	$F_{прин}$, мм
ГПП-ТП№1	966,32	2	Земля	АВВГ	10	1,2	27,90	23,25	25	102	1,12	0,9	102,816	55,80	25
ГПП-ТП№2	522,54	1	Земля	АВВГ	10	1,2	30,17	25,14	25	102	1,12	1	114,24	60,33	25
ГПП-ТП№3	654,13	2	Земля	АВВГ	10	1,2	18,88	15,74	16	77	1,12	0,9	77,616	37,76	16
ТП№3-ТП№5	1163,26	2	Земля	АВВГ	10	1,2	33,58	27,98	25	102	1,12	0,9	102,816	67,16	25
ТП№5-ТП№8	686,85	1	Земля	АПвВ	10	1,2	39,66	33,05	35	123	1,12	1	137,76	79,31	35
ГПП-ТП№4	688,38	2	Земля	АВВГ	10	1,2	19,87	16,56	16	77	1,12	0,9	77,616	39,74	16
ТП№4-ТП№7	1625,48	2	Земля	АПвВ	10	1,2	46,92	39,10	35	123	1,12	0,9	123,984	93,84	35
ТП№7-ТП№6	404,97	2	Земля	АВВГ	10	1,2	11,69	9,74	16	77	1,12	0,9	77,616	23,38	16
ГПП-ВН ДСВ-800	640	1	Земля	АПвВ	10	1,2	41,57	34,64	35	123	1,12	0,9	123,984	83,14	35
ГПП-ВН1ВАО-450S	160	1	Земля	АВВГ	10	1,2	30,02	30,02	25	102	1,12	0,9	102,816	60,04	25
ТП№1-ВРУ1	89,99	1	Земля	ВВГ	0,4	–	129,89	–	35	158	1,12	1	176,96	–	35
ТП№2-ВРУ2	165,71	1	Земля	ВВГ	0,4	–	239,18	–	120	317	1,12	1	355,04	–	120
ТП№3-ВРУ5	96,29	2	Земля	ВВГ	0,4	–	69,49	–	35	158	1,12	0,9	159,264	138,98	35
ТП№7-ВРУ10	170,67	1	Земля	ВВГ	0,4	–	246,34	–	95	279	1,12	1	312,48	–	95
ТП№7-ВРУ14	134,23	1	Земля	ВВГ	0,4	–	193,74	–	95	279	1,12	1	312,48	–	95
ТП№8-ВРУ13	38,08	1	Земля	ВВГ	0,4	–	54,96	–	16	75	1,12	1	84	–	16
ТП№8-ВРУ15	220,07	1	Земля	ВВГ	0,4	–	317,65	–	120	317	1,12	1	355,04	–	120

2.11 Определение величины токов короткого замыкания

Токи КЗ будут определяться по схеме (рисунок 3):

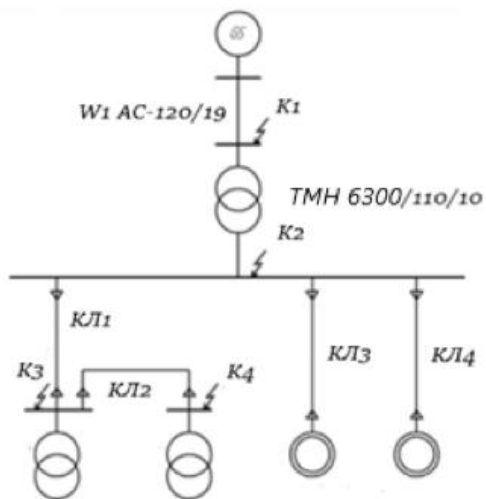


Рисунок 3 – Начальная схема

Схема замещения по схеме из рисунка 3:

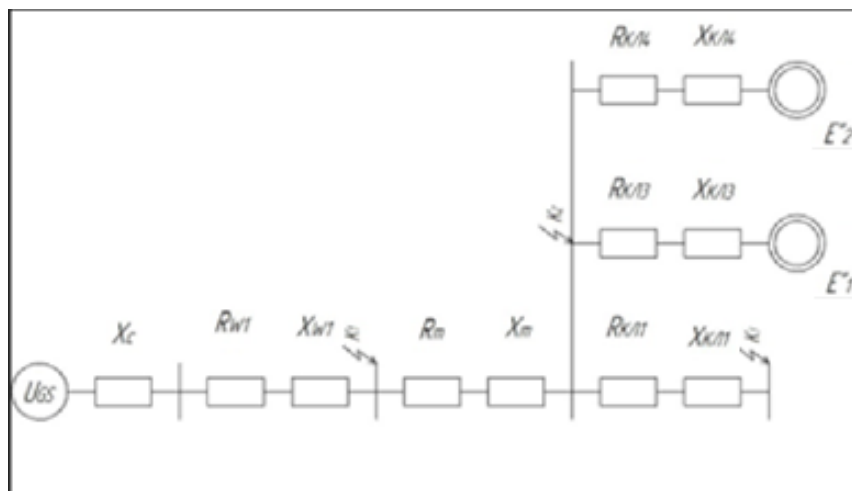


Рисунок 4 – Схема замещения

2.12 Определение сопротивлений схемы замещения

«Сопротивление питающей энергосистемы определится согласно формуле» [4]:

$$x_c = x_H^* \cdot \frac{U_H^2}{S_H}, \text{ Ом}, \quad (34)$$

«где x_H^* – реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы» [4];

« U_H – номинальное напряжение системы. $U_H = 110$ кВ» [4].

$$x_c = 1,2 \cdot \frac{110^2}{500} = 29,04 \text{ Ом}.$$

«Сопротивление ВЛ с учетом параллели двух линий на 110 кВ определим по каталогу. АС-120. Длина $l = 5,3$ км; Удельное сопротивление $x_0 = 0,427$ Ом/км; $r_0 = 0,249$ Ом/км» [7,20].

$$x_{ВЛ} = x_0 \cdot l = \frac{0,427 \cdot 5,3}{2} = 1,1315 \text{ Ом}; \quad (35)$$

$$r_{ВЛ} = r_0 \cdot l = \frac{0,249 \cdot 5,3}{2} = 0,66 \text{ Ом}, \quad (36)$$

«Сопротивление трансформатора ГПП определим по каталогу. $S_{HT} = 6,3$ МВА; $U_k = 10,5\%$; $\Delta P_k = 58$ кВт» [17].

«Для двухобмоточного трансформатора» [6]:

$$x_T = \frac{U_{кз} \cdot U_H^2}{100 \cdot S_H} = \frac{10,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 6,3} = 1,7 \text{ Ом}; \quad (37)$$

$$r_T = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_H^2}{S_H^2} = \frac{0,038 \cdot 10^2}{6,3^2} = 0,096 \text{ Ом.} \quad (38)$$

«Сопротивление кабельной линии КЛ1 АПВВ: Удельные сопротивления кабеля. $x_0 = 0,095 \text{ Ом/км}$; $r_0 = 1,15 \text{ Ом/км}$; $l = 0,094 \text{ км}$ » [1,7].

$$x_{КЛ1} = 0,095 \cdot 0,094 = 0,009 \text{ Ом};$$

$$r_{КЛ1} = 1,15 \cdot 0,094 = 0,1081 \text{ Ом.}$$

Запишем сопротивления в таблицу 14.

Таблица 14 – Значения сопротивлений элементов расчетной схемы

Наименование	X, Ом			R, Ом		
	110 кВ	10 кВ	0,4 кВ	110 кВ	10 кВ	0,4 кВ
Система	29,04	–	–	–	–	–
ВЛ	1,1315	–	–	0,66	–	–
Т-р ГПП	–	1,27	–	–	0,058	–
КЛ1	–	0,009	–	–	0,1081	–

2.13 Влияние высоковольтных двигателей на токи КЗ

«Для синхронного двигателя ДСВ/800/10/12УХЛ4 принимаются средние значения сверхпереходной ЭДС $E''=1,1$ и сверхпереходного индуктивного сопротивления по продольной оси $x''_d=0,2$ » [25].

«Сопротивление СД определится из соотношения, Ом» [25]:

$$x''_{д СД} = x''_{*д} \frac{U_H^2 \cdot \cos\varphi}{S_H} = 0,2 \cdot \frac{10^2 \cdot 0,9}{800 \cdot 10^{-3}} = 2250 \text{ Ом.} \quad (39)$$

«Значение тока подпитки точки КЗ от синхронного двигателя определится согласно» [25]:

$$I_{\text{по СД}} = \frac{E'' \cdot U_{\text{н СД}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(x_d'' + x_{\text{кЛ}})^2 + r_{\text{кЛ}}^2}} \quad (40)$$

$$= \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2250 + 0,091)^2 + 1,03^2}} = 2,822 \text{ кА.}$$

Расчет для АД представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Величина тока подпитки точки КЗ от ВН двигателей

№ на г/п	Тип двигателя	Р _н , кВт	n	Сosφ	x _d '', Ом	I _{по дв} , кА
6	ДСВ/800/10/12УХЛ4	800	2	0,9	2250	2,822
5	1ВАО-450S-4ДУ2,5	200	6	0,9	8600	0,604
Итого:						3,426

Последующие кабельные линии рассчитываются с сопротивлениями выше идущих КЛ магистрали.

Данные расчеты представлены в таблице 16 и 17.

Таблица 16 – Расчет токов трехфазного КЗ

Точка	U, кВ	x, Ом	r, Ом	I _{п0} , кА	i _{уд} , кА
Точка К1	110	30,17	0,66	2,104	5,751
Точка К2	10	1,1315	0,101	2,957	6,625
Ток К2 с учетом подпитки от ВН двигателей				6,383	15,636

Таблица 17 – Расчет токов КЗ распределительной сети завода

Участок распределительной сети	Марка кабеля	Сечение F, мм ² .	Длина, l км.	гуд, Ом/км.	худ, Ом/км.	R _{ккл} , Ом.	X _{ккл} , Ом.	Z _{ккл} , Ом.	U, кВ	I _{кз} , кА	T _а ,сек	куд	i _{уд} , кА.
ГПП-ТП№1	АВВГ	25	0,15	1,15	1,15	0,095	0,1725	0,0143	10	6,383	0,068	1,93	15,636
ГПП-ТП№2	АВВГ	50	0,15	1,03	1,03	0,104	0,1545	0,0156	10	6,383	0,068	1,93	15,636
ГПП-ТП№3	АВВГ	50	0,11	1,03	1,03	0,104	0,1133	0,0114	10	6,383	0,068	1,93	15,636
ТП№3-ТП№5	АВВГ	25	0,095	1,15	1,15	0,091	0,1093	0,0086	10	2,098	0,0043	1,10	2,54
ТП№5-ТП№8	АПВВ	35	0,095	1,15	1,03	0,109	0,0979	0,0104	10	2,157	0,0033	1,05	2,24
ГПП-ТП№4	АВВГ	50	0,2	1,03	1,03	0,104	0,2060	0,0208	10	6,383	0,068	1,93	15,636
ТП№4-ТП№7	АПВВ	25	0,13	1,15	1,15	0,091	0,1495	0,0118	10	2,050	0,0032	1,04	2,105
ТП№7-ТП№6	АВВГ	16	0,09	1,15	1,15	0,095	0,1081	0,0089	10	1,95	0,0024	1,02	1,973
ГПП-ВН ДСВ- 800/10-12УХЛ4	АПВВ	25	0,1	1,15	1,15	0,091	0,1081	0,0086	10	6,383	0,068	1,93	15,636
ГПП-ВН 1ВАО- 450S-4ДУ2	АВВГ	16	0,1	1,15	1,15	0,095	0,1081	0,0089	10	6,383	0,068	1,93	15,636

«Определим тепловой импульс тока КЗ на участке питающей линии по формуле» [6]:

$$W_k = 2,03^2 \cdot (1,15 + 0,145 + 0,05 + 0,01) \cdot 5,58 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (41)$$

где « $T_a = 0,145 \text{ с}$ – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ в точке K_1 » [6];

« $t_{уст} = 1,15 \text{ с}$ – время срабатывания релейной защиты на отходящем выключателе питающей линии» [6];

« $I_{н0} = 2,03 \text{ кА}$ – ток КЗ в точке K_1 » [6];

« $t_{св} = 0,05 \text{ с}$ – собственное время отключения выключателя (по каталогу)» [6];

« $t_{сз} = 0,01 \text{ с}$ – время срабатывания релейной защиты» [6].

«В дальнейшем принимаем: $\tau = (t_{уст} + t_{св} + t_{сз} + T_a)$ » [6];

Аналогично определяем токи КЗ и тепловые импульсы для других ключевых точек ГПП и результаты расчетов сводим в таблицу 18.

Таблица 18 – Расчет токов КЗ и тепловых импульсов

Место КЗ	$I_{н0}$, кА	τ , с	W_k , кА ² с	$i_{уд}$, кА
Выключатель питающей линии ГПП 110 кВ (K_1)	2,03	1,28	5,58	6,383
Выключатель ячейки ввода ГПП 10 кВ (K_2)	6,383	1,128	32,371	15,636
Секционный выключатель ГПП 10 кВ (K_2)	6,383	0,925	26,545	15,636
Шины НН ГПП с учетом подпитки (K_2)	6,383	1,128	32,371	15,636
Выключатель отходящей линии 10 кВ (K_2)	6,383	0,725	20,806	15,636

Токи коротких замыканий головных участков магистральных кабельных линий, отходящих от шин НН ГПП, определены в таблице 19.

Все расчеты тепловых импульсов для остальных точек представлены в таблице 20.

2.14 Проверка кабелей на термическую стойкость

«Термическая стойкость кабелей при КЗ производится по условиям минимального сечения» [25]:

$$F_{\min} < F_3, \text{ мм}^2 \quad (42)$$

«Минимальное допустимое сечение кабеля» [25]:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}, \text{ мм}^2, \quad (43)$$

где « C_T – температурный коэффициент по [25]

B_k – тепловой импульс тока КЗ» [25].

Определим тепловой импульс КЗ для отходящей кабельной линии ГПП–ТПН№1:

$$B_k = 7,153^2 \cdot 1,128 = 57,715 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Определим минимальное сечение по термической стойкости при $C_T = 65$:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{57,715 \cdot 10^6}}{65} = 116,878 \text{ мм}^2.$$

«На участке трассы ГПП–ТПН№1 проложен кабель марки АВВГ 3х16, соответственно для данного участка сети условие проверки кабелей по термической стойкости не выполняется. Результаты в таблице 19» [1].

Таблица 19 – Расчет тепловых импульсов и минимальных сечений

Участок распределительной сети	Марка кабеля	Сечение $F_{СТ}$, мм ² .	$I_{КЗ}$,кА.	T_a ,сек.	Ст	t_a , сек.	W_K , кА*сек.	F_{min} , мм ² .	$F_{прин}$
ГПП-ТП№1	АВВГ	25	6,383	0,145	65	0,2230	32,3707	87,531	95
ГПП-ТП№2	АВВГ	25	6,383	0,145	65	0,2230	32,3707	87,531	95
ГПП-ТП№3	АВВГ	16	6,383	0,145	65	0,2230	32,3707	87,531	95
ТП№3-ТП№5	АВВГ	25	2,098	0,0043	65	0,1593	0,7013	12,884	25
ТП№5-ТП№8	АПВВ	35	2,026	0,0033	65	0,1583	0,6497	12,400	35
ГПП-ТП№4	АВВГ	16	6,383	0,145	65	0,2230	32,3707	87,531	95
ТП№4-ТП№7	АПВВ	35	2,001	0,0032	65	0,1582	0,6333	12,243	25
ТП№7-ТП№6	АВВГ	16	1,929	0,0024	65	0,1574	0,5853	11,770	16
ГПП-ВН ДСВ/800/10/12УХЛ4	АПВВ	35	6,383	0,145	65	0,2230	32,3707	87,531	95
ГПП-ВН 1ВАО- 450S-4ДУ2	АВВГ	35	6,383	0,145	65	0,2230	32,3707	87,531	95

2.15 Проверка кабелей распределительной сети до 1 кВ

«Кабели распределительной сети 0,4 кВ предприятия проверяются на допустимые потери напряжения» [25].

«Произведем проверку кабелей по потере напряжения, в % по формуле» [7]:

$$\Delta U_{\text{факт}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (44)$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимая потеря напряжения в %;

«Определим фактическую потерю напряжения для участка сети ТП№1–ВРУ1 по формуле» [25]:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{факт}} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 129,9 \cdot 0,05 \cdot (0,53 \cdot 0,65 + 0,637 \cdot 0,76)}{400} \cdot 100 = \\ &= 1,1 \% \end{aligned} \quad (45)$$

где « $I_p = 129,9$ А – расчетный ток участка сети» [25];

« $r_0 = 0,53 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ – активное удельное сопротивление кабеля» [25];

« $x_0 = 0,0637 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ – индуктивное удельное сопротивление кабеля» [25];

« $U_H = 0,4$ кВ – номинальное напряжение сети» [25];

« $l = 0,050$ м – длина питающего кабеля» [25].

Условие (2.44) $1,1 \leq 10\%$ выполняется.

Результаты расчета сводим в таблицу 20.

Таблица 20 – Расчет потерь напряжения в распределительной сети

Участок распределительной сети	Марка кабеля	Сечение	I_p , А.	r_0 , Ом/км.	x_0 , Ом/км.	L, км.	$\cos\phi$	$\sin\phi$	U%
ТП№1-ВРУ1	ВВГ	35	129,89	0,53	0,0637	0,05	0,65	0,76	1,10
ТП№2-ВРУ2	ВВГ	120	470,04	0,154	0,0602	0,05	0,65	0,76	1,48
ТП№3-ВРУ5	ВВГ	35	69,49	0,53	0,0637	0,07	0,65	0,76	0,83
ТП№7-ВРУ10	ВВГ	95	246,34	0,195	0,0602	0,1	0,65	0,76	1,84
ТП№7-ВРУ14	ВВГ	95	480,19	0,195	0,0602	0,08	0,65	0,76	2,87
ТП№8-ВРУ13	ВВГ	16	159,31	1,2	0,0675	0,02	0,65	0,76	1,15
ТП№8-ВРУ15	ВВГ	120	317,65	0,154	0,0602	0,03	0,65	0,76	0,60

Вывод по разделу

После расчета нагрузок в предыдущем разделе, необходимо было представить их визуально для более простого и полного понимания сложившейся задачи.

Для этой цели была построена картограмма нагрузок, на которой окружностями с определенным углом в каждой, для каждого цеха была обозначена своя нагрузка.

После были выбраны трансформаторы непосредственно ГПП, а далее рассчитаны и цеховые трансформаторные подстанции, выбрана их мощность и расположение для дальнейшей простоты разработки распределительной сети.

Но просто выбрать трансформаторы нельзя, поэтому все трансформаторы должны пройти обязательную расчетную проверку, дабы выдерживать нагрузки, возлагаемые на них. Проверка осуществлялась на перегрузочную способность, аварийную перегрузку, все это было рассчитано исходя из примерного суточного графика нагрузки предприятия, указанного на рисунке 2.

Далее расчет подходил уже непосредственно к проектированию самой распределительной сети, а для этого еще необходимо знать ее рациональное напряжение и сечение ВЛ (воздушной линии электропередач).

Первое было определено и выбрано исходя из логических рассуждений и запаса для возможности развития энергосети в дальнейшем и принято напряжение 110 кВ. Воздушные линии же, подходящие к ГПП, были выбраны марки АС, как зарекомендовавшие себя, а исходя уже из требований ПУЭ, которые гласят о том, что в нашем случае сечение проводника должно быть не менее 120 мм², последнее было выбрано не меньше рекомендуемого и равное 120мм².

Завершением раздела было проектирование конечной распределительной сети, прокладка КЛ (кабельных линий) мощностью 10000 В и менее 1000 В, рассчитаны токи короткого замыкания, с учетом влияния на них подпитки от двигателей, а также были проверены сами кабели, которые должны выдерживать перегрузки при коротком замыкании.

Зная все изложенные выше параметры, производим выбор оборудования нашей подстанции, изложенный в следующем разделе.

3 Выбор оборудования подстанции

3.1 Выбор оборудования высшего напряжения ПС

«Для подстанции данного предприятия, по рекомендациям ОАО «ФСК ЕЭС» «Рекомендации по применению принципиальных типовых электрических схем распределительных устройств подстанций 35–750 кВ принимаем блочную схему 4Н–110, изображенную на рисунке 5» [24].

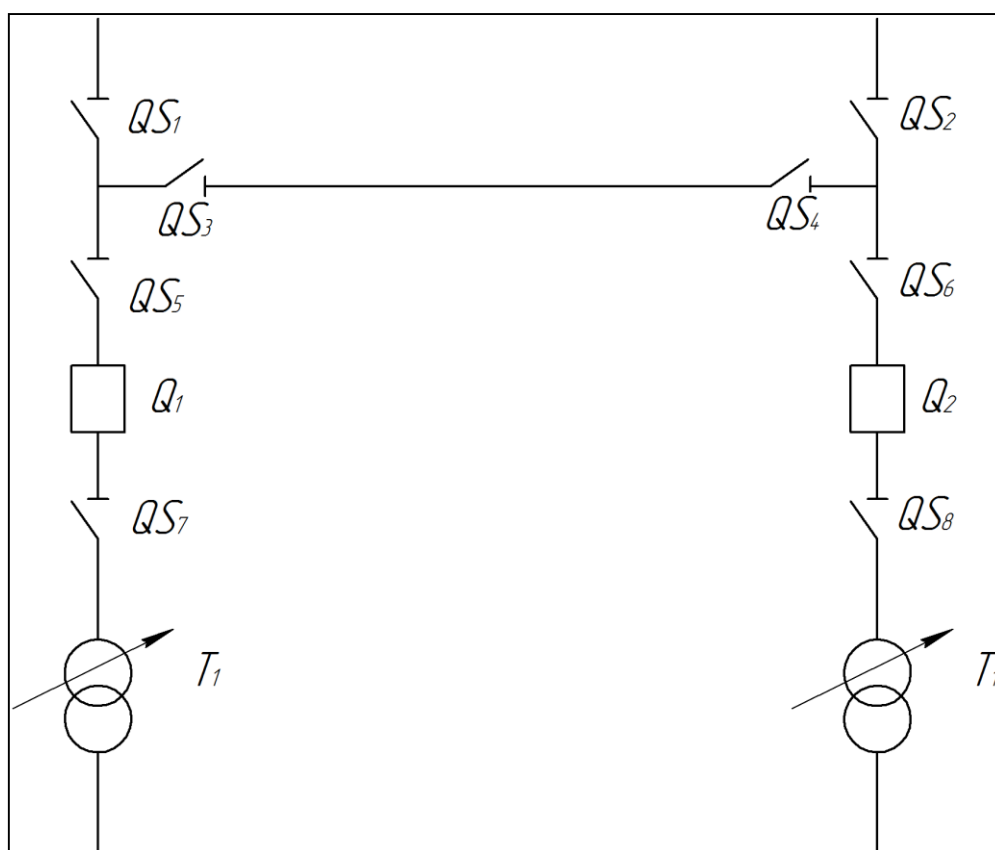


Рисунок 5 – Главная электрическая схема подстанции

«Блочная схема 4Н применяется для ответвительных и тупиковых подстанций. Так же она имеет ремонтную перемычку со стороны питающей линии, коммутируемую разъединителями» [24].

3.2 Выбор высокочастотного заградителя

«Для ограничения токов КЗ целесообразна установка высокочастотных заградителей индуктивностью 0,5; 1 и 2 мГн, которые используются при выполнении высокочастотной связи по линиям 110, 220 кВ и выше» [27].

«Как ВЧ заградитель, так и в основном все электрооборудование подстанции выбирается по номинальному напряжению и току» [27]:

$$U_{уст} \leq U_{ном}, \quad (46)$$

$$I_{расч} \leq I_{ном}. \quad (47)$$

«Так же, оборудование проверяется на электродинамическую стойкость по току электродинамической стойкости» [27]:

$$i_{дин} \geq i_{уд}, \quad (48)$$

где $i_{дин}$ – ток электродинамической стойкости оборудования;
 $i_{уд}$ – ударный ток КЗ на стороне ВН по расчетам п.5.

«На термическую стойкость заградитель проверяется по тепловому импульсу тока КЗ» [27]:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k \quad (49)$$

«Выбираем ВЧ заградитель марки ВЗ–100–0,5 УХЛ1 и проверяем по формулам (46), (47), (48) и (49).

«Параметры выбранного оборудования много превосходят расчетным параметрам» [27].

3.3 Выбор подвесных изоляторов

«Выбираем подвесные стержневые полимерные изоляторы типа ЛК 70/110–IV УХЛ1 на напряжение 110 кВ» [13].

«Формула выбора изоляторов» [13]:

$$F_{\text{расч}} \leq F_{\text{Ном.доп.}} \quad (50)$$

«Параметры выбранного оборудования много превосходят расчетным параметрам. Согласно (46) и (48) выбранное оборудование удовлетворяет» [13].

3.4 Выбор ограничителей перенапряжений

«Для защиты изоляции оборудования подстанции на высокой стороне от грозовых и коммутационных перенапряжений выбираем ограничитель перенапряжений типа ОПН–П1–110/70/10/2 УХЛ1» [5].

«ОПН выбирается по (46) и проверяются по формуле» [5]:

$$U_{\text{ро}} \geq 1,05 \cdot \frac{U_{\text{нс}}}{\sqrt{3}}, \quad (51)$$

«где $U_{\text{ро}} = 77$ – наибольшее рабочее напряжение промышленной частоты, которое может быть приложено непрерывно к ОПН, кВ» [5];

« $U_{\text{нс}} = 115$ – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение сети, кВ» [5].

$$77 \geq 1,05 \cdot \frac{115}{\sqrt{3}}; 77 \geq 69,7 \text{ кВ.}$$

«Условие (47) выполняется. Выбранный ограничитель перенапряжения удовлетворяет условию проверки» [75].

3.5 Выбор и проверка разъединителя

«Выберем разъединитель серии РГ–110/1000–УХЛ1. Разъединитель выбирается и проверяется аналогично ВЗ по формулам (46-49)» [8].

Характеристики выбранного оборудования много превосходят необходимые параметры, оборудование удовлетворяет требованиям.

3.6 Выбор и проверка высоковольтных выключателей

«Предварительно выбираем элегазовый выключатель серии ВГТ–110 УХЛ1. Выключатель выбирается по условиям (46) и (47)» [8].

«Выбранный выключатель проверяется на симметричный ток отключения» [8]:

$$I_{пт} \leq I_{\text{Ном.откл}}, \quad (52)$$

«Где $I_{\text{Ном.откл}} = 40 \text{ кА}$ – номинальный симметричный ток отключения выключателя, по каталогу» [6];

« $I_{пт} = 2,03 \text{ кА}$ – обуславливается, что будет неизменно во времени» [6];

«Проверяется выбранный выключатель на ток отключения аperiodической составляющей тока КЗ» [6]:

$$i_{ат} \leq i_{\text{а.ном}}, \quad (53)$$

«где $i_{a.ном}$ – номинальное допустимое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ, кА» [6].

«Определяется $i_{a.ном}$ по формуле» [6]:

$$i_{a.ном} = \frac{\sqrt{2} \cdot B_{ном} \cdot I_{ном.откл}}{100}, \quad (54)$$

«где $B_{ном} = 45\%$ – номинальное относительное значения содержания аperiodической составляющей в момент времени τ , по каталогу» [6].

$$i_{a.ном} = \frac{\sqrt{2} \cdot 45 \cdot 40}{100} = 25,456 \text{ кА.}$$

«Аperiodическая составляющую тока КЗ в момент времени τ определяется по формуле» [6]:

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{нт} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (55)$$

«где τ – время от начала КЗ до момента расхождения контактов выключателя, с» [6];

« $T_a = 0,145$ – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ» [6], по таблице 25.

Определяется τ по формуле:

$$\tau = t_{с.в} + t_{ср.рзиа}, \quad (56)$$

«где $t_{с.в} = 0,05$ с – собственное время отключения выключателя, по каталогу» [6];

« $t_{\text{ср.рзиа}} = 0,01$ с – время действия релейной защиты» [6].

$$i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot 2,03 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,145}} = 1,9 \text{ кА.}$$

Выбранный выключатель проверяется по включающей способности:

$$I_{\text{н0}} \leq I_{\text{Вкл.ном}}, \quad (57)$$

«где $I_{\text{Вкл.ном}} = 40$ кА – номинальный ток включения выключателя, по каталогу» [6];

« $I_{\text{н0}} = 2,03$ кА – периодическое значение тока КЗ ВН ПС в начальный момент времени» [6].

«Проверяется по пиковым значениям включающей способности выключателя» [6]:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{Вкл.ном}}, \quad (58)$$

«где $i_{\text{Вкл.ном}} = 102$ кА – наибольший пик включения выключателя по каталогу» [27].

«Проверяется по динамической устойчивости к токам КЗ» [6]:

$$I_{\text{н0}} \leq I_{\text{Дин.ном}}, \quad (59)$$

«где $I_{\text{Дин.ном}} = 40$ кА – действующее значение тока динамической стойкости выключателя по каталогу» [6].

«Параметры выбранного оборудования много превосходят расчетным параметрам. 110 УХЛ1 удовлетворяет всем условиям проверки» [6].

3.7 Выбор и проверка трансформаторов тока в цепях линий

«Принимаем к установке ТОГФ–110–УХЛ1». Трансформаторы тока в цепях линии выбираются по условиям (70) и (71), и так же проверяются по условиям (72) и (73)» [19].

«Дополнительно ТТ проверяются по допустимой вторичной нагрузке» [6]:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{Доп}}, \quad (60)$$

где Z_2 – вторичная нагрузка ТТ, Ом.

Допустимое сопротивление нагрузки определяется по формуле:

$$Z_{2\text{Доп}} = \frac{S_{2\text{Ном}}}{I_{2\text{Ном}}^2}, \quad (61)$$

где: « $S_{2\text{Ном}} = 50 \text{ Ва}$ – допустимая номинальная нагрузка ТТ для класса точности 0.2, по каталогу» [18];

« $I_{2\text{Ном}} = 5 \text{ А}$ – номинальный вторичный ток ТТ, по каталогу» [6].

«Параметры выбранного оборудования много превосходят расчетным параметрам. Выбранный трансформатор тока ТОГФ–110/150–УХЛ1 удовлетворяет всем условиям проверки» [19].

3.8 Выбор трансформатора тока в цепях силового трансформатора

«Принимаем к установке встроенный трансформатор тока серии ТВТ110–I–100/5. Параметры выбранного оборудования намного превосходят расчетные параметры» [19].

3.9 Выбор и проверка трансформатора напряжения подстанции

«Предварительно выбираем ТН ЗНОГ–110–УХЛ1. Трансформатора напряжения выбирается по условию (47), а проверяется по вторичной нагрузке» [19].

Условие проверки по вторичной нагрузке ТН:

$$S_{2\text{Ном}} \geq S_{2\Sigma}, \quad (62)$$

где « $S_{2\text{Ном}} = 150 \text{ ВА}$ – номинальная мощность вторичной обмотки в классе точности 0.2» [6];

« $S_{2\Sigma}$ – суммарная мощность приборов, подключенных к вторичной обмотке ТН, ВА» [6].

Суммарная мощность приборов $S_{2\Sigma}$, удовлетворяет параметрам трансформатора.

3.10 Выбор и проверка оборудования в нейтрали трансформатора

«Выбор и проверка заземляющих ножей нейтрали трансформатора» [15].

«Выбираем к установке ЗОН–110М–УХЛ1. Выбор и проверка ЗН аналогична разъединителю» [15].

Параметры выбранного оборудования много превосходят расчетным параметрам и удовлетворяет условиям.

«Выбор и проверка ограничителей перенапряжения в нейтрали силовых трансформаторов» [6].

«Принимаем к установке ОПНп–110–УХЛ1.

Технические характеристики аналогичны с ОПН питающей линии и проверка не производится» [6].

3.11 Выбор и проверка шинного моста

«Определим расчетный ток шинного моста подстанции» [26]:

$$I_{\text{НомШМ}} = \frac{S_{\text{Н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}} \cdot n} = \frac{6641,49}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 191,72 \text{ А}, \quad (63)$$

«где $U_{\text{НН}} = 10$ кВ – номинальное напряжение стороны НН ПС» [26];

« $n = 2$ – количество отходящих линий шинного моста НН» [26];

«Определим утяжеленный аварийный ток шинного моста НН ПС» [26]:

$$I_{\text{утяжНН}} = \frac{S_{\text{Н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}} \cdot (n - 1)} = \frac{6641,49}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot (2 - 1)} = 383,45 \text{ А}, \quad (64)$$

«Предварительно выбираем шины прямоугольного сечения АД0 с размерами 35×4 и номинальным длительно допустимым током $I_{\text{Ном,дл}} = 422$ А» [26].

«Проверим выбранную жесткую ошиновку по длительно допустимому номинальному рабочему току» [26]:

$$I_{\text{Ном,дл}} \geq I_{\text{НомНН}}. \quad (65)$$

Соответственно: $422 \geq 191,72$ А условие выполняется.

«Минимальное сечение проводника по формуле» [6]:

$$q_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}, \quad (66)$$

где « $B_k = 20,806 \text{ кА} \cdot \text{с}^2$ – тепловой импульс КЗ НН ПС» [6];

« $C_T = 90 \frac{\text{Ас}^{\frac{1}{2}}}{\text{мм}^2}$ – постоянная тепловой функций» [6].

$$q_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{20,806 \cdot 10^6}}{90} = 51 \text{ мм}^2.$$

Сечение выбранного оборудования превосходит расчетный параметр, условие удовлетворяет.

«Определим силу, возникающую при ударном токе КЗ в средней фазе» [6]:

$$F_{\text{КЗ}} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{(i_{\text{уд}})^2}{a}, \quad (67)$$

где « $i_{\text{уд}} = 15,636 \text{ кА}$ – ударный ток КЗ в месте установки шинного» [6].;

« $l = 1,5 \text{ м}$ – длина пролета между опорными изоляторами шинной конструкции, м ($l=1-1,5$)» [6];

« $a = 0,8 \text{ м}$ – минимальное расстояние между фазами для ЗРУ 10 кВ по ПУЭ» [6].

$$F_{\text{КЗ}} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{(15,636)^2}{0,8} = 52,93 \text{ Н.}$$

«В свою очередь момент сопротивления шины определится по формуле» [6]:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{35 \cdot 4^2}{6} = 0,93 \text{ см}^3, \quad (68)$$

где «b, h – ширина и высота шины по каталогу, мм» [6];

«В результате, определим напряжение в шине при действии изгибающего момента» [6]:

$$\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{11,91}{0,93} = 12,81 \text{ МПа}, \quad (69)$$

«где $\sigma_{\text{Доп}} = 40 \text{ МПа}$ – допустимое напряжение алюминиевых шин марки АОД» [6].

3.12 Выбор и проверка выключателей низшей стороны подстанции

«Проведем выбор типа распределительного устройства подстанции» [6].

«Для этого предлагается установить ячейки типа КРУ–СВЭЛ» [6].

«Выбор и проверка ячеек выключателей. Ячейки комплектуются выкатанными вакуумными выключателями марки ВВ/TEL» [6].

Выбор и проверка аналогичны выбору, описанному в разделе 3.5. Параметры выбранного оборудования превосходят и соответствуют необходимым значениям.

3.13 Выбор и проверка ограничителей перенапряжения НН ПС

«Ячейки «КРУ–СВЭЛ» комплектуются ограничителями перенапряжения серии «ОПН–TEL». Выбор и проверка ОПН 10 кВ аналогична п. 3.3. Принимаем к установке ОПН–КР/TEL–10–УХЛ1» [18].

Вывод по разделу

Задачей данного раздела был выбор оборудования подстанции (ПС). Выбор производился как для высшего напряжения (ВН), так и для низшего (НН). В соответствии с расчетными данными нашей сети и заводскими данными оборудования, были подобраны, высокочастотный заградитель, необходимый для защиты линии от проходящих ВЧ помех, которые передаются по ВЛ, идущих к подстанции.

Ограничитель перенапряжения, необходимый для защиты сети от возможных проходящих скачков напряжения и который ставится непосредственно в начале линии, чтобы не допустить дальнейшего распространения скачка, имеющего возможность перерасти в КЗ и гасит его у самого «основания».

Трансформаторы тока, необходимые на линии для установки измерительных приборов. Все оборудование выбиралось и рассчитывалось по необходимым для него параметрам и соответствует всем данным сети. Конечным результатом получаем полную защищенность сети от всевозможных непредвиденных ситуаций, будь то образовавшееся где-либо в сети КЗ, высокочастотные волны и прочие причины. Выбранное оборудование поможет «устранить на корню» причины, ведущие к аварийному режиму работы, либо минимизировать ущерб от последних

4 Расчет защит подстанции

4.1 Расчет заземляющего устройства подстанции

«Согласно «Правилам устройства электроустановок» ЗУ в любое время года должно иметь сопротивление $R \leq 0,5 \text{ Ом}$, учитывая естественные и искусственные заземлители». [21]

«Определим число продольных полос заземлителей» [6]:

$$n_{\text{прод}} = 1 + \frac{b + 6}{6} = 1 + \frac{60 + 6}{6} = 12 \text{ шт}, \quad (70)$$

где $b = 60 \text{ м}$ – ориентировочная длина подстанции по плану;

«Определим число поперечных полос заземлителей» [6]:

$$n_{\text{попер}} = 1 + \frac{a + 6}{6} = 1 + \frac{80 + 6}{6} = 15,3 \text{ шт} \quad (71)$$

где $a = 80 \text{ м}$ – ориентировочная ширина подстанции по плану;

Округляем до ближайшего целого значения 15 шт.

«Определим длину полос заземляющего контура» [6]:

$$l_{\text{контр}} = a \cdot n_{\text{прод}} + b \cdot n_{\text{попер}} = 60 \cdot 12 + 80 \cdot 15 = 1920 \text{ м} \quad (72)$$

«Определим сопротивление горизонтальных соединительных полос» [6]:

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 150 \cdot 1,225}{1920 \cdot 0,58} \cdot \lg \left(\frac{1920^2}{0,01 \cdot 0,7} \right) = 0,527 \text{ Ом.} \quad (73)$$

где «d = 0,01 м – диаметр соединительных полос» [6];

«t = 0,7 м – глубина залегания стержней» [6];

« $\rho = 150 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$ – удельное сопротивление для тип грунта в г. Оренбург» [6];

« $k_m = 1,225$ – коэффициент климатической зоны для г. Оренбург» [6];

« $n_{\Gamma} = 0,74$ – коэффициент использования горизонтального заземлителя» [6].

«Определим сопротивление растекания одиночного вертикального стержня из уголка 75x75x8 мм» [6]:

$$R_{y\Gamma} = 0,318 \cdot \rho \cdot k_m, \quad (74)$$

Соответственно:

$$R_{y\Gamma} = 0,318 \cdot 150 \cdot 1,225 = 58,43 \text{ Ом.}$$

«Определим количество уголков, без учета соединительных полос» [6]:

$$n = \frac{R_{y\Gamma}}{\frac{R_{3y} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\Gamma} - R_{3y}} \cdot n_B} = \frac{44,52}{\frac{0,5 \cdot 0,64}{0,64 - 0,5} \cdot 0,75} = 7,983 \text{ шт,} \quad (75)$$

где « $n_B = 0,75$ – коэффициент использования вертикального заземлителя» [7];

« $R_{3y} = 0,5 \text{ Ом}$ – нормативное значение сопротивления, заземляющего устройства подстанций по ПУЭ» [21].

«Между электродами расстояние должно быть не менее 3 м. Проверяем это условие по формуле» [21]:

$$l_э = \frac{l}{n} = \frac{1920}{8} = 240. \quad (76)$$

«Определим сопротивление всех вертикальных заземлителей рассчитаем по формуле» [6]:

$$R_B = \frac{R_{yг}}{n \cdot n_B} = \frac{58,43}{8 \cdot 0,75} = 9,738 \text{ Ом}. \quad (77)$$

«Суммарное сопротивление заземляющего устройства» [6]:

$$R = \frac{R_B \cdot R_{г}}{R_B + R_{г}} = \frac{0,527 \cdot 9,738}{0,527 + 9,738} = 0,49 \text{ Ом} \quad (78)$$

4.2 Расчет грозозащиты подстанции

Принимаем к «установке 4 молниеотвода, расположенных по углам подстанции (рисунок 6)» [15].

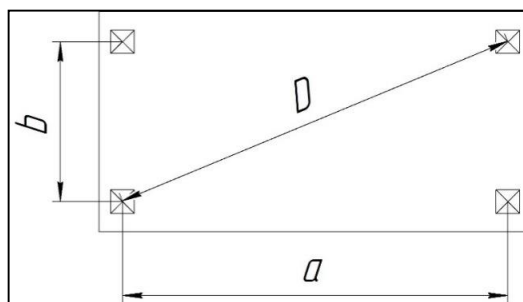


Рисунок 6 – Схема расположение молниеотводов подстанции

«Высота одиночных молниеотводов на подстанции выбирается по условию:

$$D \leq 8 \cdot (h - h_x), \quad (79)$$

где D – диагональ периметра подстанции (расстояние между молниеотводами по диагонали), м;

h – высота молниеотвода, м;

h_x – высота защищаемого объекта.

Определим диагональное расстояние при $a = 80$ м и $b = 60$ м:

$$D = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{80^2 + 60^2} = 100 \text{ м} \quad (80)$$

Набольшую высоту на ОРУ 110 кВ ГПП имеет портал ячейковый $h_x = 11,3$ м.

Принимаем к установке молниеотводы МСАП–25 высотой $h = 25$ м.

Проверяем выполнение условия (79):

$$100 \leq 8 \cdot (25 - 11,3); 100 \leq 109,6 \text{ м.}$$

Условие выполняется.

Определим радиус защиты одиночного молниеотвода» [6]:

$$r_x = (h - h_x) \cdot \frac{1,6}{P + \left(\frac{h_x}{h}\right)} = (25 - 11,3) \cdot \frac{1,6}{1 + \left(\frac{11,3}{25}\right)} = 17,2 \text{ м} \quad (81)$$

«где $P = 1$ – коэффициент постоянной составляющей молниеотвода»[6].

4.3 Дифференциальная защита

«Для защиты трансформатора 110/10 кВ в соответствии с требованиями ПУЭ установлена дифференциальная защита, выполненная на реле типа РНТ-565. Расчет дифференциальной защиты с использованием данного реле выполняется в соответствии с» [6]

«На первом этапе выполняется расчет номинальных токов трансформатора в первичных и вторичных токовых цепях» [6].

«Расчет производится в токах для стороны ВН трансформатора, за основную принимается сторона ВН, так как вторичный ток, протекающий на данной стороне больше» [6].

$$I_{с.з.} \geq k_{отс} \cdot I_{ном.} \quad (82)$$

где « $k_{отс} = 1,2 \div 1,5$ - коэффициент отстройки» [6].

«По данному условию» [6]:

$$I_{с.з.} \geq 1,3 \cdot 50,204 = 65,27 \text{ А}$$

«Данное значение проверяется на чувствительность к минимальному току КЗ в зоне действия защиты (двухфазное КЗ в точке К2)» [6]:

$$k_{ч} = \frac{I_{Кмин}^{(2)}}{I_{с.з.}} \quad (83)$$

$$k_{ч} = \frac{(5078 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}) \cdot \frac{10,5}{115}}{156,7} = 2,56$$

«Согласно требованиям ПУЭ, полученное значение должно удовлетворять условию $k_y \geq 2$. Данное требование выполняется, следовательно, уставка может быть принята» [21].

«Определяется ток срабатывания реле и условное число витков для стороны высокого напряжения» [6]:

$$I_{\text{ср.ВН}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot k_{\text{сх}}}{k_{\text{T}}} \quad (84)$$

$$\omega_{\text{ВНрасч}} = \frac{F_{\text{с.р.}}}{I_{\text{ср.ВН}}} \quad (85)$$

где $F_{\text{с.р.}} = 100 \text{ А} \cdot \text{в}$ - МДС срабатывания реле.

$$I_{\text{ср.ВН}} = \frac{156,7 \cdot \sqrt{3}}{100/5}$$

$$\omega_{\text{ВНрасч}} = \frac{100}{13,57} = 7,37 \text{ А}$$

«Принимается ближайшее меньшее число витков: $\omega_{\text{ВНрасч}} = 7$. Расчетное число витков для неосновной расчетной стороны» [6]:

$$\omega_{\text{ННрасч}} = \omega_{\text{ВН}} \cdot \frac{I_{\text{II.ВН}}}{I_{\text{II.НН}}} \quad (86)$$

$$\omega_{\text{ННрасч}} = 7 \cdot \frac{4,348}{4,582} = 6,64$$

«Так как третья составляющая тока небаланса не изменилась, дальнейшее уточнении расчета не производится» [6].

«Таким образом, предлагаются следующие уставки срабатывания дифференциальной защиты» [6]:

$$\omega_{\text{ННрасч}} = 6 \cdot \frac{4,348}{4,582} = 5,69$$

Защита удовлетворяет условиям чувствительности.

4.4 Газовая защита трансформатора

«Газовая защита устанавливается на трансформаторах и автотрансформаторах с масляной системой охлаждения» [11].

«Принцип действия защиты основан на том, что при любом, даже незначительном повреждении обмоток, за счет выделяющегося тепла происходит разложение масла.

Разложение масла сопровождается выделением газа, интенсивность выделения которого зависит от тяжести повреждения» [21].

«В рассматриваемом случае выбираем газовое реле ВГ-80» [11].

Вывод по разделу.

Последний раздел был посвящен исключительно всевозможным защитам подстанции. Заземляющие устройства, которые рассчитывались исходя из размеров рассчитываемой подстанции, выполненной в соответствии с ПУЭ, были определены не только габаритными шириной и длиной, но и глубиной залегания стержней, а также соблюдается зависимость расчета от гидрометеорологических показателей региона, в котором проектируется данное предприятие.

Следует отметить, что правила устройства электроустановок диктуют стандарты и требования для всех видов защит, вне зависимости от их значения

и исполнения, будь то ключевые параметры защиты или промежуточные коэффициенты соответствия защиты принятым нормам.

Также была рассчитана грозозащита, расположение молниеотводов которой также вычисляются исходя из данных о размерах подстанции. Однако, в отличие от заземляющих устройств, у грозозащиты определяется и высота стержней, исходя из наивысшей точки ПС, представленной высотой оборудования.

Молниезащита отражена на чертеже, являющемся приложением, выполненным к данной выпускной квалификационной работе. Дифференциальная защита трансформатора, необходимая для безопасности последнего в случае различных перенапряжений, нарушений в работе цепи и коротких замыканий, исполнена на базе реле РНТ-565.

Следует сказать и про описание газовой защиты трансформатора, которая тоже имеет место быть, но расчету, как таковому, не подлежит.

Заключение

В ходе выполнения ВКР была спроектирована СЭС производства металлоизделий. Рассчитаны освещение и электрические нагрузки.

Последние позволили принять к установке силовые трансформаторы марки ТДН–6300/110.

Для цеховых потребителей используются КТП с трансформаторами ТМГ, мощностями номиналами от 250 до 1600 кВА.

Кроме того, составлена картограмма нагрузок для того, чтобы определить место расположения ГПП (главной понизительной подстанции) и визуально показать мощности цехов.

Ввиду наличия потерь электроэнергии на шинах НН 0,4 кВ установлены КУ, позволяющие эти потери компенсировать.

Был произведен расчет токов КЗ для проверки оборудования на термическую стойкость.

Также произведен расчет релейной защиты для ТН и кабельных линий, отходящих от ГПП.

Заключительным этапом стало рассмотрение устройства АЧХ (автоматического частотного регулирования), а также основные термины, положения и требования к этому устройству.

Завершительным этапом расчета является схема электроснабжения производства, которая отвечает требованиям экономичности, надежности, удобства в эксплуатации и безопасности обслуживания.

Кроме того, спроектирована грозозащита подстанции, защищающая оборудование от возможных ударов молний одноименными устройствами, называемыми молниеотводами.

Список используемой литературы

1. АО «Электрокабель» // Кольчугинский завод. Каталог продукции. Силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 1–110 кВ. URL: <https://elcable.ru/> (дата обращения: 21.09.2021).
2. ГОСТ 9680-77 Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВ·А и более Ряд номинальных мощностей. Официальное издание М.: Издательство стандартов, 1977. Дата введения 1979-01-01.
3. ГОСТ 14209-85 // Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения: 10.10.2021).
4. Егоров М.Е. Основы проектирования машиностроительных производств. Издательство: Москва, Высшая школа, 2002. 251 стр..
5. Завод электротехнического оборудования ЗАО «Зето» // Каталоги высоковольтного оборудования подстанций. URL: <https://elcable.ru/> (дата обращения: 9.11.2021).
6. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: учеб. пособие. Том.политехн.ун-т.:Томск, 2005.168 с.
7. Кабельная поисковая системы. База данных кабельной продукции // Каталог кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. URL: <https://k-ps.ru/>. (дата обращения: 15.01.2022).
8. Каталог продукции «РУСЭЛПРОМ» // Сафоновский Электромашиностроительный Завод. URL: <https://www.szemo.ru/files/cat-ruselprom-15.pdf>. (дата обращения: 15.01.2022).
9. Каталог продукции // «Российский разработчик и производитель светодиодных светильников, зарядных устройств и аккумуляторных фонарей». URL: <https://tdtranscom.ru/products-svetilniki-12500-25000-lm/> (дата обращения: 15.10.2021).

10. Каталог продукции // «Световые технологии». URL: <https://www.ltcompany.com/ru/> (дата обращения: 15.01.2022).
11. Компания ООО «Системы релейной защиты» // Шкафы оперативного тока серии «ШОТ». URL: <http://srza.ru/> (дата обращения: 15.01.2022).
12. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сауцкевич. Минск: Техноперспектива, 2007. 255 с.
13. Компания по производству изоляторов ООО «Корлит» // Каталоги опорных и проходных изоляторов 10 кВ. URL: <https://korlit.ru/>. (дата обращения: 16.10.2021).
14. Лякишев Н.П. Энциклопедический словарь по металлургии. В двух томах. М.: Интермет Инжиниринг, 2000. 821 с.
15. Металлические изделия и конструкции // URL: <https://www.metobr-expo.ru/ru/ui/17155/> (дата обращения: 19.10.2021).
16. О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств: приказ Министерства промышленности и энергетики РФ от 22 февраля 2007 г. N 49. Зарегистрировано в Минюсте РФ 22 марта 2007 г. Регистрационный N9134. Текст приказа опубликован в газете «Еженедельник промышленного роста» от 12 - 18 марта 2007 г. N 8.
17. «ОАО «БЭЗ» Белозерский энергомеханический завод». // Каталог силовых маслянных трансформаторов. URL: <http://www.bemz.by/>. (дата обращения: 125.10.2021).
18. ОАО «Корневский завод низковольтной аппаратуры». // Каталог предохранителей 10 кВ. URL: <http://nva-korenevo-ru>. (дата обращения: 05.11.2021).

19. ООО «Тольяттинский трансформаторный завод». // Трансформаторы собственных нужд станций и подстанций. URL: <http://www.transformator.com.ru/>. (дата обращения: 17.11.2021).

20. «Опоры линий электропередач, провода, тросы и другие изделия на ЛЭП». Каталог проводов марки АС. // URL: <https://linijaopory.ru/>. (дата обращения: 18.11.2021).

21. Правила устройства электроустановок // все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2015 года. Москва: КНОРУС, 2015. 488 с.

22. Производство металлоизделий. // URL: <http://stellastroy.ru/proizvodstvo-metalloizdelij-metallokonstruktsij-mnogo-ne-byvaet/> (дата обращения: 17.11.2021).

23. Расчёт электрических нагрузок по форме Ф636-92. URL: <https://www.proektant.org/index.php?topic=5856.15> (дата обращения: 17.10.2021).

24. Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанции 35-750 кВ // Схемы типовые принципиальные электрические распределительных устройств подстанции 35-750 кВ. Стандарт организации. Дата введения: 16.06.2010г. URL: <https://www.fsk-ees.ru/> (дата обращения: 26.11.2021).

25. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. М.: Энергия, 2012. 248 с.

26. Шины распределительных устройств. Жесткие прямоугольные шины 10 кВ. // Каталог типоразмерных сечений. URL: <https://www.websor.ru>. (дата обращения: 19.12.2021).

27. Электротехническая компания ООО «Конденсатор» // Комплектация линий электропередач. Высокочастотные заградители. URL: <http://www.kondensator.su>. (дата обращения: 25.12.2021).