

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 группы цехов автозавода

Студент

В.В. Алексеев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., доцент А.А. Кувшинов

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

Тольятти 2021

Аннотация

Темой выпускной квалификационной работы является «Проектирование системы электроснабжения группы цехов автозавода».

В данной работе проведен расчет электрических нагрузок потребителей, расположенных на территории металлургического завода. Затем был проведен расчет освещения потребителей методом удельной мощности. На основании рассчитанных суммарных нагрузок по методу удельной плотности нагрузки были выбраны соответствующие силовые трансформаторы для их установки на комплектных трансформаторных подстанциях (КТП) завода, были определены места расположения КТП и ГПП металлургического завода. Проведен расчет и выбор компенсирующих устройств.

Далее был произведен выбор схемы электроснабжения потребителей завода.

Далее, проведен расчет токов короткого замыкания (ТКЗ). На основании проведенных расчетов было выбрано электрооборудование ТП с учетом проведенных проверок на термическую и электродинамическую стойкость.

ВКР содержит 59 страницы, 6 чертежей, выполненных на форматах листа А1.

Содержание

Введение.....	4
1. Характеристика объекта проектирования	5
2. Расчет электрических нагрузок	7
3. Расчет освещения.....	15
4. Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций.	
Выбор компенсирующих установок.....	19
5. Определение местоположения ГПП.....	32
6. Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП.....	34
7. Расчет токов коротких замыканий.....	36
7.1 Расчет токов коротких замыканий выше 1 кВ.....	36
7.2 Расчет токов коротких замыканий ниже 1 кВ.....	38
8. Выбор и проверка оборудования на ГПП.....	42
8.1 Выбор оборудования на стороне 110 кВ.....	42
8.2 Выбор оборудования на стороне 10 кВ.....	42
9. Расчет заземления и молниезащиты.....	49
Заключение.....	53
Список используемых источников.....	54

Введение

В данной выпускной квалификационной работе требуется выполнить разработку системы электроснабжения, а именно разработать проект электроснабжения группы цехов автозавода. Проект в данном направлении является актуальным ввиду открытия новых производств и внедрении нового оборудования на предприятиях.

Помимо того, что к проектируемым объектам предъявляются все новые требования, при проектировании систем электроснабжения необходимо также использовать самые актуальные стандарты, нормы и правила. Все это имеет большое значение.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка эффективного и полноценного проекта системы электроснабжения завода. Для достижения цели потребуется изучить и использовать нормативную документацию по проектированию систем электроснабжения. Данная документация находится в свободном доступе и будет изучена.

В рамках разработки поставлены следующие задачи:

- собрать данные об объекте проектирования;
- провести расчёт электрических нагрузок по объекту;
- произвести расчет освещения
- Определить местоположения ГПП
- выбрать трансформаторы и компенсирующие устройства для снабжения отдельных цехов электроэнергией;
- определить месторасположение главной понизительной подстанции (ГПП) объекта;
- произвести расчёт токов КЗ для выбора оборудования защиты на ГПП;
- провести расчётную проверку и выбор оборудования на стороне 6 кВ ГПП.

1 Характеристика объекта проектирования

Первоначальные данные об объекте даны в рамках задания к дипломному проектированию. Данные систематизированы и сведены в таблицу 1. Перечень высоковольтных электроприемников сведены в таблицу 2.

Таблица 1 – Исходные данные основных потребителей завода [2].

№ цеха на плане	Название цеха	ΣP_H , кВт	пэ, шт.
1	Гараж внутривозовского транспорта	35	20
2	Поликлиника	60	4
3	Медпункт	30	4
4	Склады механосборочного корпуса	90	14
5	Механосборочный корпус	3725	74
6	Заводоуправление	950	39
7	Электроремонтный цех	206	17
8	Проходная	10	4
9	Типография	35	20
10	Котельная	210	11
11	Компрессорная	490	15
12	Литейный цех серого чугуна	150	29
13	Склад шихты и формовочных материалов	75	15
14	Градирня	40	7
15	Прессовый корпус	6050	121
16	Насосная хозяйственного и питьевого водопровода	525	9
17	Отделение и склад деревянных моделей	130	28
18	Столовая	225	15

Таблица 2 - Перечень электроприемников высокого напряжения.

№ цеха на плане	Вид высоковольтного ЭП	P_H , кВт	n , шт	$U_{ном}$, кВ
10	Синхронные ЭД	630	2	6
11	Синхронные ЭД	800	4	6
12	Электрические печи	630 кВА	4	6

Выводы по разделу

Как видно из перечня имеется нагрузка электродуговых печей (с трансформаторами).

Данные потребители будут запитаны напрямую от подстанции поэтому они в дальнейших расчётах не будут учтены.

Была составлена таблица 1 «Исходные данные основных потребителей завода» [2] , таблица 2 «Перечень электроприемников высокого напряжения».

2 Расчет электрических нагрузок

Расчет проведем методом расчетных коэффициентов на основании РТМ 36.18.32.4-92. Согласно данному нормативному документу:

«Все ЭП группируются по характерным категориям с одинаковыми $K_{И}$ и $tg\varphi$. В каждой строке указываются ЭП одинаковой мощности.» [2],[3]

«При наличии в справочных материалах интервальных значений $k_{И}$ следует для расчета принимать наибольшее значение. Значения $k_{И}$ должны быть определены из условия, что вероятность превышения фактической средней мощности над расчетной для характерной категории ЭП должна быть не более 0,05.» [1]

«Коэффициент использования и коэффициент полезной мощности для каждого цеха выбирается по справочным данным из источника 2 (Приложение 2) [2].

«Для каждого цеха предприятия определяются средние за наиболее загруженную смену активные и реактивные электрические нагрузки по формулам 1 и 2» [2],[3].

$$P_C = K_{И} \cdot P_{Н} \quad (1)$$

где P_C – средняя активная мощность;

$K_{И}$ – коэффициент использования электроприемников;

$P_{Н}$ – номинальная мощность.

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{Н} \cdot tg \varphi \quad (2)$$

где Q_C – средняя активная мощность ;

$K_{И}$ – коэффициент использования электроприемников;

$P_{Н}$ – номинальная мощность, кВт.

$tg \varphi$ – коэффициент реактивной мощности

«Определяем расчетный коэффициент по справочным данным и из источника 2 (Приложение 2) [2]. Для его нахождения определяем коэффициент использования и количество эффективных ЭП по формуле 3» [2],[3].

$$K_P = (K_{И}) \quad (3)$$

где K_P – коэффициент расчетной мощности.

«Используя расчетный коэффициент и количество эффективных ЭП, находим расчетные активную и реактивную мощности по формулам 4,5 и 6» [2].

$$P_P = K_P \cdot P_C \quad (4)$$

где P_P – расчетная активная мощность;

K_P – коэффициент расчетной мощности.

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_C \text{ при } n_{Э} \leq 10 \quad (5)$$

$$Q_P = Q_C \text{ при } n_{Э} > 10 \quad (6)$$

где Q_C – средняя активная мощность;

$n_{Э}$ – эффективное число электроприемников.

«Полную расчетную мощность находим по формуле 7» [2]-[4].

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} \quad (7)$$

«После этого определяются итоги по нагрузке 0,4 кВ. Находим суммарное количество электроприемников, значения номинальной активной мощности, средних активной и реактивной мощностей и расчетных активных и реактивных мощностей. По суммарному значению определяем коэффициент использования и $\text{tg } \varphi$ для всей низковольтной нагрузки по формулам 8 и 9» [2].

$$K_{\text{И}} = \frac{\sum P_{\text{С}}}{\sum P_{\text{Н}}} \quad (8)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sum Q_{\text{С}}}{\sum P_{\text{С}}} \quad (9)$$

«Суммарную полную мощность находим по формуле 10» [2]-[4].

$$\sum S_{\text{P}} = \sqrt{\sum P_{\text{P}}^2 + \sum Q_{\text{P}}^2} \quad (10)$$

«Рассчитаем высоковольтные нагрузки на напряжении 6–10 кВ.

Для начала находим номинальную суммарную мощность высоковольтной нагрузки по данной мощности одного ЭП и количеству ЭП. В отличие от нагрузки на 0,4 кВ, здесь количество ЭП из данных приравнивается к эффективному количеству ЭП.

После определяем среднесменную нагрузку.

В расчетах необходимо учитывать, что синхронные двигатели можно использовать для компенсации реактивной мощности, то есть записать реактивную мощность с отрицательным знаком.

Рассчитаем итоги для высоковольтной нагрузки 6–10 кВ» [1].

«Находим суммарное количество электроприемников, значения номинальной активной мощности, средних активной и реактивной мощностей. После определяем общие коэффициенты по формулам 8 и 9»

«Используя коэффициент одновременности, находим расчетные активную и реактивную мощности по формулам 11 и 12» [2]-[5].

$$P_p = K_o \cdot P_c \quad (11)$$

где K_o – коэффициент одновременности.

$$Q_p = K_o \cdot Q_c \quad (12)$$

«Суммарную полную мощность находим по формуле 10.

Определим суммарные расчетные нагрузки по заводу в целом.

Результаты расчетов сводим в таблицу 3» [2].

Таблица 3 – Сводные результаты расчётов

№	Название цеха	P_H , кВт	n_{Σ}	ΣP_H , кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_P / K_O	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
Нагрузка 0,4 кВ													
1	Гараж внутривозодского транспорта	-	20	35	0,6	0,7	1,02	21	21,4	0,9	18,91	23,541	30,10
2	Поликлиника	-	4	60	0,4	0,5	1,02	24	36,7	0,7	16,80	36,70	40,30
3	Медпункт	-	4	30	0,6	0,7	1,02	12	18,36	0,85	10,21	18,362	20,90
4	Склады механосборочного корпуса	-	14	90	0,5	0,6	1,33	54	59,8	0,75	40,50	65,70	77,40
5	Механосборочный корпус	-	74	3725	0,7	0,7	1,02	2980	2608,5	0,8	2384	2869,31	3730
6	Заводоуправление	-	39	950	0,8	0,8	0,75	665	570	0,75	532	627	822,20
7	Электроремонтный цех	-	17	206	0,5	0,7	1,02	144,2	146	0,75	108,151	161,70	194,51

Продолжение таблицы 3

№	Название цеха	P_H , кВт	n_{Σ}	ΣP_H , кВт	$K_{И}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_P / K_0	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
8	Проходная	-	4	10	0,35	0,7	1,02	4	3,57	0,9	3,61	3,50	5,10
9	Типография	-	20	35	0,4	0,8	0,75	14	10,50	0,75	10,50	11,53	15,571
10	Котельная	-	11	210	0,5	0,7	1,02	126	107,11	0,75	94,52	117,82	151
11	Компрессорная	-	15	490	0,6	0,8	0,75	294	220,5	0,8	235,21	242,51	337,80
12	Литейный цех серого чугуна	-	29	150	0,8	0,6	0,75	90	88	0,8	72	99	122,40
13	Склад шихты и формовочных материалов	-	15	75	0,5	0,6	0,75	31,5	28	0,75	26,30	30,95	40,50
14	Градирня	-	7	40	0,6	0,8	0,75	24	18	0,85	19,20	18	26,30
15	Прессовый корпус		121	6050	0,6	0,8	0,75	4840	2722	0,8	3872	2994,25	4894

Продолжение таблицы 3

№	Название цеха	P_H , кВт	$n_э$	$\sum P_H$, кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_P / K_O	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
16	Насосная хозяйство и питьевого водопровода		9	9	0,5	0,8	0,75	315	196,8	0,75	236,250	196,87	307,41
17	Отделение и склад деревянных моделей	-	28	28	0,7	0,8	0,75	39	39	0,7	27,34	42,90	50,81
18	Столовая	-	15	15	0,35	0,7	1,02	175,8	78,5	0,7	123	86	150
ИТОГО		-	359,00	30196,00	0,75	-	0,87	9853,5	6975,26	-	7830,40	7642,94	11016,2

Продолжение таблицы 3

№	Название цеха	РН, кВт	пЭ	Σ РН, кВт	КИ	cos φ	tg φ	РС, кВт	QC, квар	КР / КО	РР, кВт	QR, квар	SP, кВА
Нагрузка 6 кВ													
10	Синхронные ЭД	630	2	1260	0,8	0,9	- 0,48	1008	-483,84	-	-	-	-
11	Синхронные ЭД	800	4	3200	0,8	0,9	- 0,48	2560	-1228,8	-	-	-	-
12	Электрические печи	630	4	2520	0,8	0,9	- 0,48	2016	-967,68				
ИТОГО			10	6980	0,77	-	0,09	9465	-2680,32	0,95	5304,8	-2546,3	5884,2
Вся нагрузка													
ИТОГО			367	42496	0,77	-	0,38	24342,22	4294,94	-	13134,2	5096,64	16900,4

Выводы по разделу

В ходе расчета была найдена суммарная мощность Автозавода и каждого отдельного производственного корпуса.

3 Расчет освещения

При проведении расчета освещения завода необходимо учитывать нагрузку искусственного внутрицехового освещения металлургического завода, а также наружное освещение территории завода [21].

Нагрузку искусственного освещения завода определим с помощью удельной мощности освещения по формуле:

$$P_0 = F \cdot S \cdot K_{CO} \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$

где F – площадь освещения, м²;

S – удельная плотность нагрузки на освещение, Вт/м²;

K_{CO} – коэффициент спроса освещения.

При длительном пребывании работающих в помещении освещенность принимаем 200 лк [2]. Значения удельной мощности примем исходя из значений освещенности помещений по СП 52.13330.2016 табл.7.2. Получаем 10 Вт/м² [3]. По аналогии определим значения удельной мощности для других цехов и занесем их в таблицу 4.

В качестве светильников для освещения складов примем светильники GALAD Иллюминатор LED-160 (Medium) с мощностью 160 Вт. Для освещения цехов и производственных помещений, в которых присутствует повышенная температура, применим светильники ГСП/ЖСП70-400-1031 с мощностью 470 Вт, с температурой эксплуатации до +70°С с лампами ДРИ/ДНаТ. Коэффициент мощности светильников 0,9. Внешний вид данных светильников представлен на рисунке 1 [4], [22].

Вид кривой силы света (КСС) данных светильников представлен на рисунке 2.

Данные светильники удобно монтируются на специальные крюки, трос d6-12,5, а также на монтажный профиль и трубу 3/4”.

Таблица 4 – Расчет нагрузки внутреннего искусственного освещения цехов завода

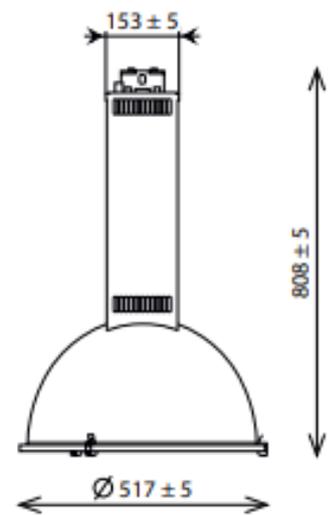
№	Наименование потребителя	F, м ²	S, Вт/м ²	K _{со}	P ₀ , кВт	cosφ	tgφ	Q ₀ , квар	S ₀ , кВА
1	Гараж внутризаводского транспорта	1680	14	0,85	19,9	0,9	0,48	9,55	22,07
2	Поликлиника	800	10	0,6	4,8	0,9	0,48	2,3	5,32
3	Медпункт	615	14	0,85	7,31	0,9	0,48	3,5	8,1
4	Склады механосборочного корпуса	1125	10	0,6	6,75	0,9	0,48	3,24	7,48
5	Механосборочный корпус	4940	16	0,85	67,1	0,9	0,48	32,28	74,46
6	Заводоуправление	690	14	0,85	8,2	0,9	0,48	3,9	9,08
7	Электроремонтный цех	2000	16	0,95	30,4	0,9	0,48	14,59	33,7
8	Проходная	1408	16	0,95	21,41	0,9	0,48	10,27	23,74

Продолжение таблицы 4

№	Наименование потребителя	F, м ²	S, Вт/м ²	K _{CO}	P ₀ , кВт	cosφ	tgφ	Q ₀ , квар	S ₀ , кВА
9	Типография	504	18	0,95	8,61	0,9	0,48	4,13	9,54
10	Котельная	1760	18	0,95	30	0,9	0,48	14,4	33,27
11	Компрессорная	870	16	0,95	13,22	0,9	0,48	6,34	14,66
12	Литейный цех серого чугуна	4350	20	0,8	69	0,9	0,48	33,12	76,53
13	Склад шихты и формовочных материалов	1600	16	0,95	24,32	0,9	0,48	11,67	26,97
14	Градирня	225	16	0,9	3,24	0,9	0,48	1,55	3,59
15	Прессовый корпус	9048	16	0,9	130,29	0,9	0,48	62,53	144,51
16	Насосная хозяйственного и питьевого водопровода	300	20	0,8	4,8	0,9	0,48	2,3	5,32
17	Отделение и склад деревянных моделей	1030	10	0,6	6,18	0,9	0,48	2,96	6,85
18	Столовая	760	10	0,8	6	0,9	0,48	2,88	6,65
	ИТОГО				461,53			221,51	511,84

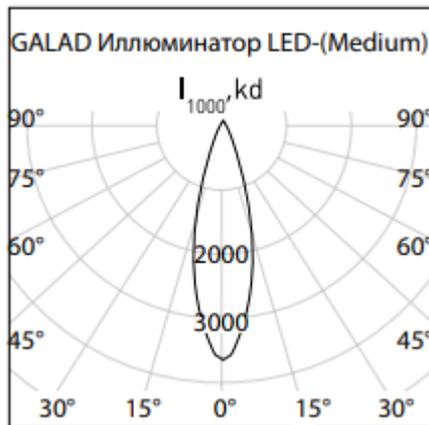


Иллюминатор LED-160 (Medium)

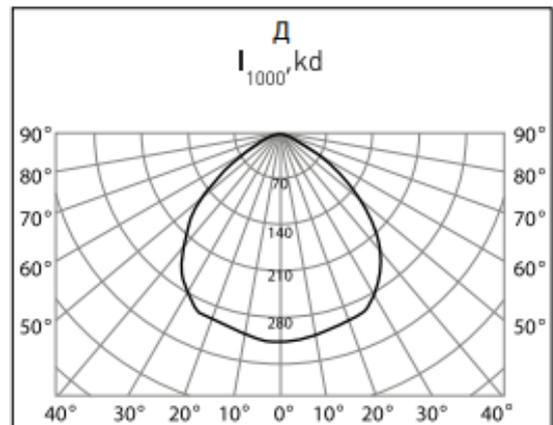


ГСП/ЖСП70-400-1031

Рисунок 1 – Внешний вид светильников и их габаритные размеры



Иллюминатор LED-160 (Medium)



ГСП/ЖСП70-400-1031

Рисунок 2 – КСС светильников

Выводы по разделу

В результате расчета нагрузки освещения группы цехов автозавода получаем полную мощность, которая составляет 511,84 кВА.

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

Электроснабжение проектируемых энергопринимающих устройств предусматривается от существующих спроектированных ранее внешних сетей.

«Напряжение сети 380/220В при глухо-заземленной нейтрали трансформатора. Тип системы заземления TN-C-S.» [5]

Класс напряжения электросети, к которым будет осуществляться подключение – 10/0,4 кВ.

Расчет мощности трансформаторов будем проводить по методу удельной плотности нагрузок [23],[24],[28].

«При определении номинальной мощности трансформаторов исходят:

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

Перед нахождением мощности силовых трансформаторов необходимо выбрать установки компенсации реактивной мощности» [2]-[8].

Чтобы более эффективно запитать и уменьшить затраты на количестве трансформаторов требуется оптимизировать их количество. С этой целью при изучении плана завода объединены следующие цеха ввиду их близкого расположения и малой мощности:

Проведём расчёты по цехам:

«Рассчитаем мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 14:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_{к.р}) \quad (14)$$

где $Q_{к.р}$ – значение расчетной мощности КУ, квар;

α – коэффициент, учитывающий повышение $\cos\varphi$ естественным способом, принимается $\alpha = 0,9$;

P_p – значение расчетной активной мощности цеха, кВт;

$tg\varphi, tg\varphi_{к.р}$ – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Компенсиацию реактивной мощности по опыту эксплуатации производят до получения значения $tg\varphi_k = 0,33 \dots 0,47$.

Определим расчетную полную мощность цеха с учетом компенсации по формуле 15:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{к.р})^2} \quad (15)$$

Определим плотность электрической нагрузки цеха. Она рассчитывается для цехов большой мощности по формуле 16:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}} \quad (16)$$

где σ – значение плотности электрической нагрузки цеха(-ов), кВА / м²;

S_p – значение полной расчетной мощности по цеху(-ам) с учетом компенсации, кВА;

$F_{ц}$ – значение площади цеха(-ов), м²;

Находим мощность цеховых трансформаторов по формуле 17:

$$S_T \geq \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T} \quad (17)$$

где S_T – значение полной мощности одного трансформатора, кВА;

S_p – значение полной расчетной мощности по цеху(-ам) с учетом компенсации, кВА;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

N_T – количество трансформаторов в цеховой ПС.

Количество трансформаторов и коэффициент загрузки для каждой категории надежности узнаем из таблицы из источника 1 в Приложении 4.

Расчетная мощность трансформатора округляется до ближайшей стандартной мощности по шкале ГОСТ 11920-85, ГОСТ 12965-85» [2].

«Примеры расчётов:

Пример 1. Расчет отдельно стоящего цеха 15. Это Прессовый корпус.

Категория надежности данного цеха – 2.

Рассчитаем суммарную расчетную активную и реактивную мощности» [1].

$$\sum P_P = P_{P15} = 3872 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_P = Q_{P15} = 2994 \text{ квар}$$

«Определим $\text{tg } \varphi$ для цехов» [1].

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q_{P15}}{P_{P15}} = \frac{2994}{3872} = 0,7$$

«Рассчитаем мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 14» [1].

$$Q_{\text{к.р}} = 0,9 \cdot 3872 \cdot (0,7 - 0,33) = 1289,37 \text{ квар}$$

«Округлим до ближайшего номинального значения мощности КУ из приложения 5 в источнике [1]. Цех 2-й категории надежности, будут

устанавливаться два трансформатора и КУ. КУ выбираем АУКРМ-800-0,4» [1],[31],[32].

«Расчетная полная мощность цеха с учетом компенсации» [2],[3],[31],[32].

$$S_p = \sqrt{3872^2 + (2994 - 1289,37)^2} = 4230 \text{ кВА}$$

$$S_T \geq \frac{4230}{0,7 \cdot 2} = 3021 \text{ кВА}$$

«Выбираем трансформаторы мощностью 3100 кВА. ТМГ-3200/10/0.4
Все данные по расчетам заносятся в таблицу 5» [2]-[4].

Пример 2. Расчет цеха 16.

Категория надежности – 2.

$$\sum P_p = P_{P16} = 236,250 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_p = Q_{P16} = 196,80 \text{ квар}$$

«Определим $\text{tg } \varphi$ для цехов» [1].

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q_{P16}}{P_{P16}} = \frac{196,8}{236,25} = 0,83$$

«Рассчитаем мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 14» [2]-[4],[40]-[44].

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 236,25 \cdot (0,83 - 0,33) = 106,31 \text{ квар}$$

«Округлим до ближайшего номинального значения мощности КУ из приложения 5 в источнике [1]. Цех 2-й категории надежности, будут устанавливаться два трансформатора и КУ. КУ выбираем АУКРМ-150-0,4» [2],[31],[32].

«Расчетная полная мощность цеха с учетом компенсации» [2],[31],[32].

$$S_p = \sqrt{236,25^2 + (196,8 - 106,31)^2} = 252,98 \text{ кВА}$$

$$S_T \geq \frac{252,98}{0,7 \cdot 2} = 180,7 \text{ кВА}$$

«Выбираем трансформаторы мощностью 200 кВА. ТМГ-250/10/0.4

Все данные по расчетам заносятся в таблицу 5» [2]-[4],[40]-[44].

Пример 3. Расчет отдельного производственного корпуса 5. Это Механосборочный корпус.

Категория надежности данного корпуса – 2.

$$\sum P_p = P_{p5} = 2384 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_p = Q_{p5} = 2869 \text{ квар}$$

«Определим tg φ для цехов» [1].

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q_{p5}}{P_{p5}} = \frac{2869}{2384} = 1,2$$

«Рассчитаем мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 14» [2]-[4],[40]-[44].

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 2384 \cdot (1,2 - 0,33) = 1866,67 \text{ квар}$$

«Округлим до ближайшего номинального значения мощности КУ из приложения 5 в источнике [1]. Цех 2-й категории надежности, будут устанавливаться два трансформатора и КУ. КУ выбираем АУКРМ-800-0,4» [2],[31],[32]. «Расчетная полная мощность цеха с учетом компенсации» [2],[31],[32].

$$S_p = \sqrt{2384^2 + (2869 - 1900)^2} = 2573,4 \text{ кВА}$$

$$S_T \geq \frac{2573,4}{0,7 \cdot 2} = 1838,1 \text{ кВА}$$

«Выбираем трансформаторы мощностью 3000 кВА. ТМГ-3000/10/0.4
Все данные по расчетам заносятся в таблицу 5» [2]-[4],[40]-[44].

Пример 4. Расчет цехов 6 и 11. Это компрессорная и Заводоуправление.
Категория надежности цехов – 1.

$$\sum P_p = P_{p6} + P_{p11} = 532 + 235 = 767 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_p = Q_{p6} + Q_{p11} = 627 + 242,5 = 869,5 \text{ квар}$$

«Определим tg φ для цехов» [2].

$$tg \varphi = \frac{Q_{c6} + Q_{c11}}{P_{c6} + P_{c11}} = \frac{627 + 242,5}{532 + 235} = 1,13$$

«Рассчитываем мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 14» [2]-[4],[40]-[44].

$$Q_{\text{к.р}} = 0,9 \cdot 767 \cdot (1,13 - 0,33) = 552,24 \text{ квар}$$

«Округляем до ближайшего номинального значения мощности КУ из приложения 5 в источнике [3]. Цех 1-й категории надежности, будут устанавливаться два трансформатора и КУ. КУ выбираем АУКРМ-225-0,4» [2].

«Найдем расчетную полную мощность цеха с учетом компенсации» [2]-[4],[40]-[44].

$$S_p = \sqrt{768^2 + (869,5 - 550)^2} = 831,8 \text{ кВА}$$

«Рассчитаем плотность электрической нагрузки цеха по формуле 16» [2]-[4],[40]-[44].

$$\sigma = \frac{831,8}{2690} = 0,30 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$$

«Максимальная мощность трансформаторов определяется по справочным данным из источника 2 (Приложение 2) [2]. Она равна 600 кВА» [2]-[4],[40]-[44].

$$S_T \geq \frac{831,8}{0,7 \cdot 2} = 594,1 \text{ кВА}$$

«Выбираем трансформаторы мощностью 600 кВА. ТМГ-600/10/0.4

Пример 5. Расчет цехов 1,2,3,4,8,9 и 14.

Категория надежности – 1, 2 и 3.

Расчет суммарной активной и реактивной мощности» [2]-[4],[40]-[44].

$$\begin{aligned} \sum P_P &= P_{P1} + P_{P2} + P_{P3} + P_{P4} + P_{P8} + P_{P9} + P_{P14} = \\ &= 18,9 + 16,8 + 10,2 + 40,5 + 3,6 + 10,5 + 19,25 = 121,3 \text{ кВт} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Q_P &= Q_{P1} + Q_{P2} + Q_{P3} + Q_{P4} + Q_{P8} + Q_{P9} + Q_{P14} = \\ &= 23,541 + 36,72 + 18,360 + 65,73 + 3,52 + 11,51 + 18 = 165,71 \text{ квар} \end{aligned}$$

«Определим $\text{tg } \varphi$ для цехов» [1]-[4],[40]-[44].

$$\begin{aligned} \text{tg } \varphi &= \frac{Q_{P1} + Q_{P2} + Q_{P3} + Q_{P4} + Q_{P8} + Q_{P9} + Q_{P14}}{P_{P1} + P_{P2} + P_{P3} + P_{P4} + P_{P8} + P_{P9} + P_{P14}} = \\ &= \frac{23,54 + 36,7 + 18,36 + 65,7 + 3,5 + 11,5 + 18}{18,9 + 16,8 + 10,2 + 40,5 + 3,6 + 10,5 + 19,25} = 1,3 \end{aligned}$$

«Рассчитаем мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 14» [2]-[4],[40]-[44].

$$Q_{\text{к.р}} = 0,9 \cdot 121,3 \cdot (1,3 - 0,33) = 105,89 \text{ квар}$$

«Округлим до ближайшего номинального значения мощности КУ из приложения 5 в источнике [1]. Цеха 1-й, 2-й и 3-й категории надежности, будут устанавливаться два трансформатора и КУ. КУ выбираем АУКРМ-150-0,4» [1],[31],[32].

«Расчетная полная мощность цеха с учетом компенсации» [2],[31],[32].

$$S_p = \sqrt{121,3^2 + (165,7 - 105)^2} = 135,63 \text{ кВА}$$

$$S_T \geq \frac{135,63}{0,7 \cdot 2} = 96,87 \text{ кВА}$$

«Выбираем трансформаторы мощностью 100 кВА. ТМГ-160/10/0.4
Все данные по расчетам заносятся в таблицу 5» [2]-[4],[40]-[44].

Пример 6. Расчет цехов 10,12,13, и 7.

Категория надежности – 2 и 3.

$$\begin{aligned} \sum P_P &= P_{P10} + P_{P12} + P_{P13} + P_{P7} = \\ &= 94,5 + 72 + 26,3 + 108,15 = 275,15 \text{ кВт} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Q_P &= Q_{P10} + Q_{P12} + Q_{P13} + Q_{P7} = \\ &= 117,8 + 99 + 30,9 + 161,7 = 409,8 \text{ квар} \end{aligned}$$

«Определим $\text{tg } \varphi$ для цехов» [1]-[4],[40]-[44].

$$\begin{aligned} \text{tg } \varphi &= \frac{Q_{P10} + Q_{P12} + Q_{P13} + Q_{P7}}{P_{P10} + P_{P12} + P_{P13} + P_{P7}} = \\ &= \frac{117,8 + 99 + 30,9 + 161,7}{94,5 + 72 + 26,3 + 108,15} = 1,4 \end{aligned}$$

«Рассчитаем мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 14» [2]-[4],[40]-[44].

$$Q_{К.Р} = 0,9 \cdot 275,15 \cdot (1,4 - 0,33) = 264,96 \text{ квар}$$

«Округлим до ближайшего номинального значения мощности КУ из приложения 5 в источнике [1]. Цеха 1-й, 2-й и 3-й категории надежности,

будут устанавливаться два трансформатора и КУ. КУ выбираем АУКРМ-225-0,4» [1],[31],[32]. «Расчетная полная мощность цеха с учетом компенсации» [1],[31],[32].

$$S_p = \sqrt{275,15^2 + (409,8 - 270)^2} = 308,62 \text{ кВА}$$

$$S_T \geq \frac{308,62}{0,7 \cdot 2} = 196,53 \text{ кВА}$$

«Выбираем трансформаторы мощностью 225 кВА. : ТМГ-400/10/0.4
Все данные по расчетам заносятся в таблицу 5» [2]-[4],[40]-[44].

Пример 7. Расчет цехов 17 и 18.

Категория надежности – 3.

$$\begin{aligned} \sum P_P &= P_{P17} + P_{P18} = \\ &= 27,3 + 123 = 150 \text{ кВт} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Q_P &= Q_{P17} + Q_{P18} = \\ &= 42,9 + 86,3 = 130 \text{ квар} \end{aligned}$$

«Определим tg φ для цехов» [1].

$$\begin{aligned} \text{tg } \varphi &= \frac{Q_{P17} + Q_{P18}}{P_{P17} + P_{P18}} = \\ &= \frac{27,3 + 123}{42,9 + 86,3} = 1,1 \end{aligned}$$

«Рассчитаем мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 14» [1]-[4],[40]-[44].

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 150 \cdot (1,1 - 0,33) = 103,95 \text{ квар}$$

«Округлим до ближайшего номинального значения мощности КУ из приложения 5 в источнике [1]. Цеха 2-й и 3-й категории надежности, будут устанавливаться два трансформатора и КУ. КУ выбираем АУКРМ-150-0,4» [1],[31],[32].

«Расчетная полная мощность цеха с учетом компенсации» [2],[31],[32].

$$S_p = \sqrt{150^2 + (130 - 104)^2} = 152,2 \text{ кВА}$$

$$S_T \geq \frac{152,2}{0,7 \cdot 2} = 108,7 \text{ кВА}$$

«Выбираем трансформаторы мощностью 100 кВА. ТМГ-160/10/0.4
Все данные по расчетам заносятся в таблицу 5» [7]-[8],[41]-[44].

Таблица 5 – Результаты расчетов выбора цеховых трансформаторов и компенсирующих устройств

№	Наименование цехов предприятия	Категория надежности	Fц, м2	Б, кВА/м2	PP, кВт	QK.P, квар	Qp, квар	Sp, кВА	Принято к установке		
									KY	SH.T, кВА	nT / nKY
15	Прессовый корпус	2	9048	0,47	3872	1289,371	2994,21	4230	800	3200	2
16	Насосная хозяйственного и питьевого водопровода	2	300	0,89	236,251	106,310	196,81	252,98	150	260	1
5	Механосборочный корпус	2	4940	0,65	2384	1866,674	2869,32	2573,41	800	3000	2
6	Заводоуправление	2	2690	0,30	767	552,240	869,51	831,80	610	1000	2
11	Компрессорная										
1	Гараж внутризаводского транспорта	2	6357	0,025	121,3	105,892	165,7	135,631	150	160	2
2	Поликлиника										
3	Медпункт										
4	Склады механосборочного корпуса										
8	Проходная										
9	Типография										
14	Градирня										

Продолжение таблицы 5

№	Наименование цехов предприятия	Категория надежности	F _ц , м2	Б, кВА/м2	PP, кВт	QK.P, квар	Qp, квар	Sp, кВА	Принято к установке		
									КУ	SH.T, кВА	nT / nКУ
17	Отделение и склад деревянных моделей	3	1860	0,09	150	103,95	130	152,2	150	160	2
18	Столовая										
10	Котельная	2	9710	0,043	275,15	264,961	409,8	308,621	225	400	2
12	Литейный цех серого чугуна										
13	Склад шихты и формовочных материалов										
7	Электроремонтный цех										
Суммарная полная мощность цехов, $\sum S_p$, кВА:								8484,63			

Выводы по разделу

В ходе расчета были выбраны трансформаторы разного номинального напряжения, соответствующие требованию и качеству рабочих участков.

Были выбраны компенсирующие устройства, соответствующие требованиям.

5 Определение местоположения ГПП

«Чтобы рационально расположить ГПП требуется провести расчёты по координатам ГПП» [2]-[3],[10]-[13].

Данные по мощностям цеховых ТП приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Данные мощностей цеховых ТП

Название цехового ТП	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5	Ц6	Ц7
Номера корпусов и производственных корпусов, подключенных к данным цеховым ТП	15	16	5	6,11	1,2,3, 4,8,9, 14	10,12, 13,7	17, 18
P_p , кВт	3872	236,25	2384	767	121,3	275,15	150
Q_p , квар	2994,2	196,8	2869,3	869,5	165,7	409,8	130

«Наносим генплан предприятия на картограмму с осями X и Y.

Масштаб $m_T = 40$ м/см.

Размер цеховых ТП равен 10x10 метров.

После этого нужно определить координаты X и Y каждой цеховой ТП» [1].

«Следующим шагом будет определение радиусов активных и реактивных нагрузок. Принимаем для наименьшей нагрузки (Ц5) радиус $R_{A5} = 15$ м, тогда» [1].

$$m_a = \frac{P_5}{\pi R_{A5}^2} = \frac{121,3}{3,14 \cdot 15^2} = 0,17 \text{ кВт/м}^2$$

«Принимается $m_a = 0,17$ кВт/м².

Определим радиус для наибольшей нагрузки цеховых ТП» [2]-[3],[10]-[13].

$$R_{A1} = \sqrt{\frac{P_2}{\pi m_a}} = \sqrt{\frac{3872}{3,14 \cdot 0,17}} = 45,46 \text{ м}$$

«Примем $m_p = 0,17$ квар/м² и рассчитаем радиусы реактивных мощностей по формуле 18» [1]-[3],[10]-[13].

$$R_{Pi} = \sqrt{\frac{Q_i}{\pi m_p}} \quad (18)$$

«Заносим все значения в таблицу 7» [2].

Таблица 7 – Данные по радиусам мощностей цеховых ТП

Название цехового ТП	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5	Ц6	Ц7
X, м	141	159	98	176	90	115	86
Y, м	72	125	326	230	418	130	97
P_p , кВт	3872	236,2 5	2384	767	121,3	275,1 5	150
R_A , м	45,46	11,29	35,67	20,23	8	12,11	8,9
Q_p , квар	2994, 2	196,8	2869, 3	869,5	165,7	409,8	130
R_p , м	39,97	10,24	39,12	21,5	9,4	14,79 8	8,3 3

Выводы по разделу

В ходе расчета были определены радиусы активных и реактивных нагрузок.

6 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП

«Выбор напряжения питания ГПП промышленного предприятия зависит от напряжения возможного источника питания, расстояния от подстанции предприятия до этого источника питания, возможности размещения высоковольтных воздушных и кабельных линий электропередачи, условий окружающей среды и ряда других факторов» [2],[34],[44]-[47].

«Активные потери на цеховых трансформаторах (формула 19):

$$\Delta P_T = \sum S_p \cdot 0,02 \quad (19)$$
$$\Delta P_T = 8484,63 \cdot 0,02 = 170 \text{ кВт}$$

Определяем суммарную активную мощность по всему предприятию по формуле 20» [1],[34],[44]-[47].

$$P_{рп} = P_{рн} + P_{рв} + \Delta P_T \quad (20)$$
$$P_{рп} = 7830,4 + 5304,8 + 170 = 13305,2 \text{ кВт}$$

«Рассчитаем величину рационального напряжения, которую можно определить по формуле Стилла 21» [2],[34],[44]-[47].

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{L \cdot 0,016 \cdot P_{рп}} \quad (21)$$
$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{3 \cdot 0,016 \cdot 13305,2} = 109,67 \text{ кВ}$$

От подстанции возможно получить напряжения 10 и 110 кВ, наиболее приближенное к рациональному напряжению 110 кВ, поэтому выбираем его.

«Рассчитаем экономически целесообразную реактивную мощность, потребляемую предприятием из энергосистемы, на стороне ВН ГПП по формуле 22:

$$Q_{ЭС} = P_{РП} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ЭС} \quad (22)$$
$$Q_{ЭС} = 13305,2 \cdot 0,54 = 7184,8 \text{ квар}$$

Коэффициент экономически целесообразной реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi_{ЭС}$ находится, согласно питающему напряжению от сетей, в источнике 1 в Приложении 7.

Определим значение полной расчетной мощности промышленного предприятия по формуле 23:

$$S_{РП} = \sqrt{P_{РП}^2 + Q_{ЭС}^2} \quad (23)$$
$$S_{РП} = \sqrt{13305,2^2 + 7184,8^2} = 15121,16 \text{ кВА}$$

Номинальную мощность трансформаторов на ГПП определяем по формуле 24:

$$S_T \geq \frac{S_P \cdot K_{1-2}}{K_{ПЕР}} \quad (24)$$
$$S_T \geq \frac{15121,16 \cdot 1}{1,3} = 11631,66 \text{ кВА}$$

Выводы по разделу

В ходе расчета были выбран для установки на ГПП предприятия 2 трансформатора ТДН-16000/110» [44]-[47].

7 Расчет токов коротких замыканий

7.1 Расчет токов коротких замыканий выше 1 кВ

«Определим токи коротких замыканий для выбора устройств защиты»
[2]-[3],[16],[30],[33].

«Изобразим расчетную схему (рисунок 3) и схему замещения (рисунок 4).

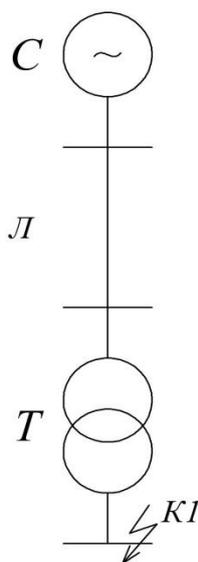


Рисунок 3 – Расчетная схема

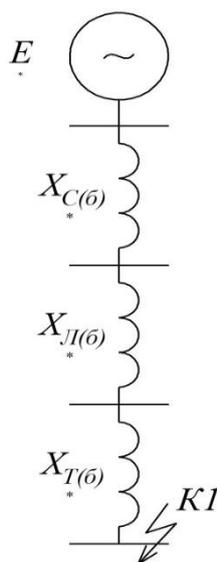


Рисунок 4 – Схема замещения

Паспортные данные занесены в таблицу 8» [2]-[3],[16],[30],[33].

Таблица 8 – Паспортные данные трансформатора

Тип	S_H , МВА	Каталожные данные				
		$U_{НОМ}$, кВ		U_K , %	P_K , кВт	P_X , кВт
		ВН	НН			
ТДН-16000/110	16	115	11	10,5	86	21

«Также запишем дополнительные данные» [2]-[5],[15],[24].

$$S_6 = 1000 \text{ МВА}; U_6 = 10 \text{ кВ}; S_K = 1360 \text{ МВА}$$

$$k_{уд} = 1,85; l = 7 \text{ км}; x_0 = 0,4 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

Проведем расчеты по высокой стороне:

«Рассчитаем сопротивления системы [2]-[5],[15],[24].

$$x_{*C(6)} = \frac{S_6}{S_K} = \frac{1000}{1360} = 0,7 \text{ о. е.}$$

Найдем сопротивления системы [2]-[5],[15],[24].

$$x_{*L(6)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = 0,4 \cdot 3 \cdot \frac{1000}{10^2} = 12 \text{ о. е.}$$

Определим сопротивление трансформатора [2]-[5],[15],[24].

$$x_{*T(6)} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{10} = 10,5 \text{ о. е.}$$

Рассчитаем ток короткого замыкания» [2]-[5],[15],[24].

$$x_{K1} = x_{*C(6)} + x_{*Л(6)} + x_{*Т(6)} = 0,7 + 12 + 10,5 = 23,2 \text{ о. е.}$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 91,64 \text{ кА}$$

$$I_{П,0} = \frac{E''_C}{x_{рез,K1}} \cdot I_6 = \frac{1}{23,2} \cdot 91,64 = 3,95 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{П,0} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 3,95 \cdot 1,85 = 10,3 \text{ кА}$$

«Заносим полученные данные в таблицу 9» [2]-[5],[15],[24].

Таблица 9 – Паспортные данные трансформатора

Точка	Ударный ток	Периодическая составляющая тока КЗ
K1	10,3 кА	3,95 кА

7.2 Расчет токов коротких замыканий ниже 1 кВ

На стороне ниже 1кВ для расчета ТКЗ важно учитывать индуктивные и активные сопротивления элементов системы электроснабжения. На стороне ниже 1кВ выберем расчетные точки короткого замыкания К-2, К-3. Точка К-2 расположена за кабельной линией, идущей от КТП-1 до РУ первого потребителя. Расстояние 150 м. Точка К-4 расположена за кабельной линией, проходящей от РУ первого потребителя до насоса кислородной станции.

Выбор кабелей для расчета сопротивления проведем по аналогии с ранее проведенными расчетами.

Рассчитаем трехфазный ток короткого замыкания по методике ГОСТ 28249-93.

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными $r_{кв}=0,25$ мОм, $x_{кв}=0,1$ мОм. По данному ГОСТ п2.7 активным и индуктивным сопротивлением трансформаторов тока можно пренебречь. Активное сопротивление контактов $r_{к}=0,1$ мОм. Сопротивление автоматического выключателя $r_{ав}=0,25$ мОм, $x_{ав}=0,1$ мОм.» [15],[47]-[50].

Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_{\text{нн}}^2}{S_c} \quad (25)$$

$$x_c = \frac{400^2}{500} \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ мОм}$$

Сопротивления силового трансформатора определим, используя его паспортные данные:

$$r_{\text{Тр}} = \frac{P_{\text{кном}} \cdot U_{\text{ннном}}^2}{S_{\text{тном}}^2} \cdot 10^6 \quad (26)$$

$$x_{\text{Тр}} = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{кном}}}{S_{\text{тном}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{ннном}}^2}{S_{\text{тном}}} \cdot 10^4 \quad (27)$$

$$r_{\text{Тр}} = \frac{10,8 \cdot 0,4^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1,73 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{Тр}} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 10,8}{1000}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^4 = 8,63 \text{ мОм}$$

Рассчитаем общее сопротивление цепи на примере точки К-2:

$$r_{\text{сумм}} = r_{\text{КЛ2}} + r_{\text{Тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ав}} + r_{\text{ТТ}} \quad (28)$$

$$x_{\text{сумм}} = x_{\text{КЛ2}} + x_{\text{Тр}} + x_{\text{ав}} + x_{\text{ТТ}} + x_{\text{с}} \quad (29)$$

Подставляя вышеприведенные значения получаем: $r_{\text{сумм}} = 28,33$ мОм,
 $x_{\text{сумм}} = 20,75$ мОм

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ без учета подпитки от электродвигателей» [15]:

$$I_{\text{п0}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\text{сумм}}^2 + x_{\text{сумм}}^2)}} \quad (30)$$

$$I_{\text{п0}} = \frac{400}{\sqrt{3 \cdot (4,59^2 + 9,39^2)}} = 6,576 \text{ кА}$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей ТКЗ» [15]:

$$\varphi_{\text{с.ф}} = \arctg\left(\frac{x_{1\text{сумм}}}{r_{1\text{сумм}}}\right) \quad (31)$$

$$\varphi_{\text{с.ф}} = \arctg\left(\frac{28,33}{20,75}\right) = 0,939$$

Рассчитаем время от начала КЗ до появления ударного тока по выражению:

$$t_{\text{уд.т}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi_{\text{с.ф}}}{\pi} \quad (32)$$

$$t_{\text{уд.т}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{3,14}{2} + 0,939}{3,14} = 18,696 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

«Постоянная времени затухания аperiodической составляющей ТКЗ» [15]:

$$T_{\text{а}} = \frac{x_{1\text{сумм}}}{r_{1\text{сумм}} \cdot \omega_{\text{с}}} \quad (33)$$

$$T_{\text{а}} = \frac{28,33}{20,75 \cdot 314} = 4,348 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{удт} = \left(1 + \sin\varphi_{с.ф} \cdot e^{\frac{-t_{удт}}{T_a}} \right) \quad (34)$$

$$K_{удт} = \left(1 + \sin(0,939) \cdot 2,71^{\frac{-18,696 \cdot 10^{-3}}{4,348 \cdot 10^{-3}}} \right) = 1,011$$

Ударный ток:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 6,576 \cdot 1,011 = 9,402 \text{ кА}$$

Расчет точки К-3 проведем по аналогии.

Полученные результаты занесем в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты расчетов трехфазного короткого замыкания

№	$U_{срном},$ кВ	$r,$ МОм	$x,$ МОм	$\varphi_{с.ф}$	$T_a, 10^{-3}$ с	$I_{п0},$ кА	$K_{удт}$	$i_{уд},$ кА
К1	10,5	-	-	-	-	10,3 3,95	1,0 1,6	91,64
К2	0,4	28,33	20,75	0,939	4,438	6,576	1,011	9,402
К3	0,4	123,28	24,25	1,377	16,19	1,838	1,284	3,337

Далее по полученным расчетам проведем выбор оборудования КТП.

Выводы по разделу

В данном разделе были определены параметры ТКЗ для каждой из точек трехфазного КЗ. Первая и вторая точка КЗ была задана на стороне выше 1 кВ. Первая точка КЗ имеет самый высокий ударный ток трехфазного ТКЗ снижается, поскольку полное сопротивление цепи становится выше.

Полученные результаты расчетов необходимы для выбора оборудования КТП.

8 Выбор и проверка оборудования ГПП

8.1 Выбор оборудования на стороне 110 кВ

Основывается на современных практических решениях и технологиях, с упором на стоимость оборудования. Предварительно «на высокой стороне 110 кВ к выбору намечаем оборудование:

- выключатель ВГТ-СЭЩ-110-25/1250 ,
- разъединитель РН-СЭЩ-110/1250,
- трансформатор тока ТОГФ-110.
- Ограничитель перенапряжения ОПН-110 УХЛ1
- Блок заземлителя ЗОН-110М-1 УХЛ1

Выбор оборудования на стороне 10 кВ, выполнен совместно с выбором типа КРУ, где устанавливаются ограничитель перенапряжения ОПН-П-10 выключатель ВВУ-СЭЩ-П-10, трансформаторы тока ТШЛ-СЭЩ-10, трансформаторы напряжения ЗНОЛ-СЭЩ-10-1 УТ»

8.2 Выбор оборудования на стороне 10 кВ

Для выбора оборудования КТП воспользуемся каталожными данными. [16]

Выберем для потребителей завода девять 2БКТП-1000/10/0,4-УХЛ1, состоящих из двух блоков.

«Для напряжений 6 кВ используем КРУ. Выберем одно из таких, это КРУ-СЭЩ-70-10.

Перечень измерительных приборов, устанавливаемых на ПС, приведен в таблице 11» [1],[11]-[14],[39]-[43].

«Данные по оборудованию КРУ приведен в таблице 12» [1],[11]-[14],[39]-[43].

Таблица 11 – Перечень измерительных приборов» [1]

Цепь	Место установки	Перечень приборов
Двухобмоточный трансформатор	ВН	Амперметр
	НН	Амперметр, ваттметр, варметр, счетчики активной и реактивной энергии
Сборные шины 6 кВ	Каждая секция сборных шин	Вольтметр
Секционный выключатель	–	Амперметр
Линии 6 кВ к ТП	Каждая линия	Амперметр, счетчики активной и реактивной энергии
Трансформатор собственных нужд	ВН	–
	НН	Амперметр, счетчики активной энергии

Таблица 12 – Данные по оборудованию КРУ

Тип ячейки	
Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6
Тип выключателя	ВВУ-СЭЩ-Э-10-31,5/1000
Тип трансформатора напряжения	НАЛИ-СЭЩ-6-1-0,5-225
Тип трансформатора тока	ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-1200/5

«Проверяем вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ-Э-10-31,5/1000.

1. Номинальное напряжение:

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

2. Номинальный рабочий ток:

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot 2} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 2} = 458,92 \text{ А}$$

$$I_{\text{раб}} = 1145,54 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$$

3. Отключающая способность:

3.1. Симметричный ток:

$$I_{\text{п,}\tau} = I_{\text{п,0}} = 16,1 \text{ кА}$$

$$I_{\text{п,}\tau} = 16,1 \text{ кА} \leq I_{\text{откл.ном}} = 31,5 \text{ кА}$$

3.2. Аperiodическая составляющая тока:

$$\tau = t_{\text{рз}} + t_{\text{с.в.}} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с}$$

$$I_{\text{а,}\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п,}\tau} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 16,1 \cdot e^{-\frac{0,04}{0,03}} = 6 \text{ кА}$$

$$I_{\text{а,ном}} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор}}}{100} \right) \cdot I_{\text{откл.ном}} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 40}{100} \right) \cdot 31,5 = 17,82 \text{ кА}$$

$$I_{\text{а,}\tau} = 6 \text{ кА} \leq I_{\text{а,ном}} = 17,82 \text{ кА}$$

3. Включающая способность:

$$I_{\text{п,0}} = 3,95 \text{ кА} \leq I_{\text{вкл.ном}} = 20 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = 10,3 \text{ кА} \leq i_{вкл.ном} = 20 \text{ кА}$$

4. Электродинамическая стойкость:

$$I_{п,0} = 3,95 \text{ кА} \leq I_{пр.с} = 50 \text{ кА}$$

$$i_{уд} = 10,3 \text{ кА} \leq i_{пр.с} = 50 \text{ кА}$$

6. Термическая стойкость:

$$t_{откл} = t_{рз} + t_{пв.откл} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с}$$

$$B_K = I_{п,0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a) = (8,43 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,06 + 0,03) = 6,39 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$$

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

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

$$t_{откл} = 0,06 \text{ с} \leq t_T = 3 \text{ с}$$

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = (50 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 150 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_K = 6,39 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с} \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = 150 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$$

Все условия выполняются, а значит, данный выключатель прошел проверку» [1].

«Теперь проверим трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-500/5.

1. Номинальное напряжение:

$$U_{ном} = 6,3 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$$

2. Номинальный рабочий ток:

$$I_{раб} = 458,92 \text{ А} \leq I_{1ном} = 500$$

3. Термическая стойкость:

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ с}; B_{\text{К}} = 6,39 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \geq t_{\text{T}}, \text{ то } B_{\text{К}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}}$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \leq t_{\text{T}}, \text{ то } B_{\text{К}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}}$$

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ с} \leq t_{\text{T}} = 3 \text{ с}$$

$$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = (20 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 24 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{\text{К}} = 6,39 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = 24 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$$

4. Вторичная нагрузка:

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

Заполним таблицу (таблица 13) с измерительными приборами, подключаемыми к вторичной обмотке трансформатора тока» [1],[11]-[14],[39]-[43] »

«Нагрузку вторичных обмоток ТТ выбираем исходя из одной ячейки [1]-[16] »

Таблица 13 – Измерительные приборы, подключенные к ТТ

Тип прибора	Название прибора	п, кол.	S _{приб} , ВА	S _Σ , ВА
Амперметр	ЦМ120	1	15	15
Ваттметр				
Счетчики активной энергии и реактивной энергии	ЦМК120СП	1	10	10
Суммарное значение полной мощности всех приборов				25

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

«Во вторичной цепи будет больше одного устройства, то сопротивление контактов примем равным $R_K = 0,1 \text{ Ом}$

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

Расчетная длина проводов вторичной обмотки зависит от схемы соединения. Как правило, используется полная звезда, а значит, $l_p = l$.

Для 10 кВ длина вторичных цепей находится в диапазоне 4...6 м.

Удельное сопротивление равно $\rho = 0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, так как жила будет из меди» [1].

$$S = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 6}{0,9} = 0,12 \text{ мм}^2$$

«Минимальное сечение для медных проводов равно $2,5 \text{ мм}^2$. Поэтому выбираем именно такое.

Проверяем трансформатор напряжения.

Теперь проверим трехфазный трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЩ-6-1-0,5-225 [1] »

1. Номинальное напряжение:

$$U_{\text{НОМ}} = 6 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.НОМ}} = 6 \text{ кВ}$$

2. Вторичная нагрузка:

«Заполним таблицу (таблица 14) с измерительными приборами, подключаемыми к вторичной обмотке трансформатора напряжения»

«Нагрузка вторичных обмоток ТН выбираем исходя из всей шины [1],[11]-[14],[39]-[43].

Таблица 14 – Измерительные приборы, подключенные к ТН

Тип прибора	Название прибора	cos φ	sin φ	n _{приб} , КОЛ.	n _{кат} , КОЛ.	S _{кат.} , ВА	S _Σ , ВА
Вольтметр	ЦМ120	1	0	2	–	–	30
Ваттметр							
Счетчики активной энергии и реактивной энергии	ЦМК120С П	0,38	0,925	7	–	–	70

Параметры выбранного трансформатора напряжения сводятся в таблицу 15» [1],[11]-[14],[39]-[43].

Таблица 15 – Параметры выбранного трансформатора напряжения

Параметр	Значение
Номинальное напряжение обмотки, В: ВН НН	6000/√3 100/√3
Вторичная нагрузка, ВА: расчетная S _{2Σ} S _{ном}	86 225
Класс точности	0,5

Выводы по разделу

В ходе выборе и проверке устройств на КТП мы получили, что его оборудования соответствует требованиям нормативно-технической документации.

9 Расчет заземления и молниезащиты

Заземление необходимо для безопасной эксплуатации электроустановок. Расчет заземления проведем на примере БКТП.

Контур заземления необходимо выполнить непосредственно у всех БКТП, поскольку разрешается не использовать повторное заземление, если потребитель подключен к шинам по кабельным линиям. [17],[20]-[26],[29],[36]

Сопротивление вертикального заземлителя:

$$R_{\text{ВЗ}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{ВЗ}}} \left(\ln \frac{2 \cdot L_{\text{ВЗ}}}{d_{\text{ВЗ}}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{\text{ВЗ}} + L_{\text{ВЗ}}}{4 \cdot T_{\text{ВЗ}} - L_{\text{ВЗ}}} \right) \quad (35)$$
$$R_{\text{ВЗ}} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,1} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 16,07 \text{ Ом}$$

Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{\text{ГЗ}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{ГЗ}}} \cdot \ln \frac{2L_{\text{ГЗ}}^2}{b_{\text{ГЗ}} \cdot h_{\text{ГЗ}}} \quad (36)$$
$$R_{\text{ГЗ}} = \frac{100}{2\pi \cdot 5} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5^2}{0,04 \cdot 0,5} = 24,9 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление ЗУ:

$$R_{\text{ЗУ}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{\text{исп.з.}} \cdot \rho_{\text{э.и}}}{R_{\text{з.и}}}} \quad (37)$$
$$R_{\text{ЗУ}} = \frac{1}{\frac{10 \cdot 0,69}{21,19} + \frac{1 \cdot 0,69}{24,9}} = 2,83 \text{ Ом}$$

В результате расчета получили, что сопротивление заземляющего устройства, состоящего из 10 вертикальных стержней, с расстоянием между ними 5 м, составляет 2,83 Ом.

В результате расчета получили, что сопротивление заземляющего устройства, состоящего из 10 вертикальных стержней, с расстоянием между ними 5 м, составляет 1,39 Ом.

Данные системы заземления построены с применением глухозаземленной нейтрали. Характеризуются подключением нулевого проводника (N) к контуру заземления. При этом первый тип, на вводе в цех, характеризуется объединением защитного проводника РЕ и нулевого N в один комбинированный нуль (PEN) с подстанции, подключенного к глухозаземленной нейтрали. На вводе в цех PEN проводник разделяется на N и РЕ проводники. Система заземления в распределительных и групповых сетях является более безопасной, имеет разделенные защитные проводники РЕ и нулевые N.

Расчет заземления ГПП, цехов и потребителей завода осуществляется аналогично.

Проведем расчет молниезащиты для ГПП. Для защиты от прямых попаданий молнии установим два молниеотвода. Молниеотводы установлены на анкерной опоре отходящей ЛЭП и на самой высокой точке ОРУ подстанции.

«Активная высота молниеотвода:

$$h_A = h - h_x \quad (38)$$
$$h_A = 30 - 7 = 23$$

где h – высота молниеотвода, м;

h_x – высота установки молниеотвода от уровня земли, м. »

Зона защиты молниеотвода:

$$r_x = h_A \cdot \frac{1,6}{1+h_x/h_A} \cdot P \quad (39)$$

$$r_x = 23 \cdot \frac{1,6}{1+7/30} \cdot 1 = 29,84 \text{ м}$$

Наибольшая сторона зоны защиты:

$$h_0 = h - \frac{a}{7} \quad (40)$$

$$h_0 = 30 - \frac{52,8}{7} = 22,46 \text{ м}$$

где a – расстояние между молниеотводами, м.

Ширина зоны защиты:

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x) \quad (41)$$

$$b_x = 3 \cdot (22,46 - 1,25 \cdot 7) = 41,13 \text{ м}$$

На основании проведенных расчетов представим зону защиты на рисунке 5.

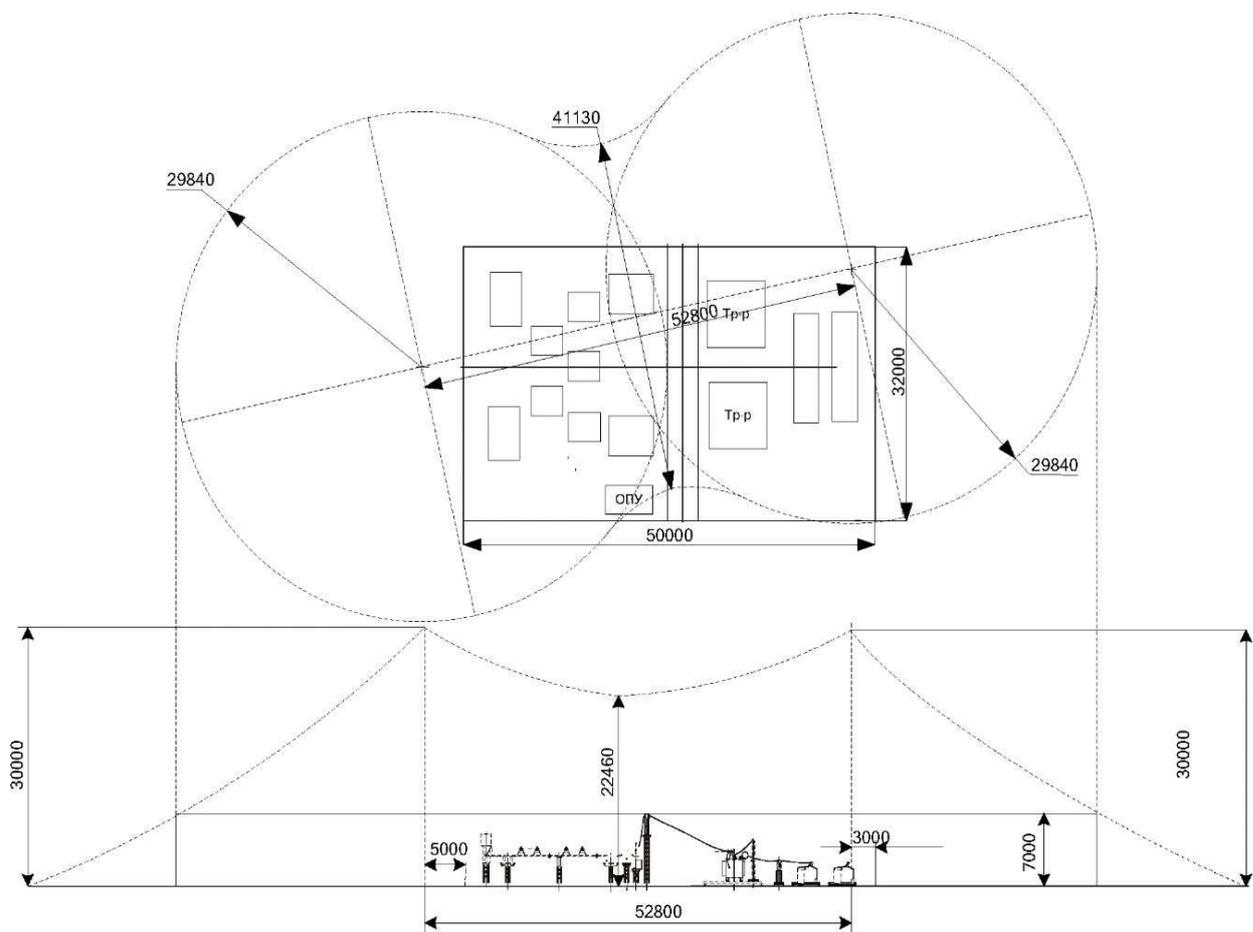


Рисунок 5 – Зона защиты молниеотводов

Выводы по разделу

В ходе расчета заземляющего устройства, мы получили, что его сопротивление соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Расчет молниезащиты проведенный на примере ГПП показал, что молниеотводы покрывают требуемую зону действия защиты от ударов молнии.

Заключение

Цель, поставленная в начале проектирования, была достигнута.

Для этого были проведены аналитические и расчетные работы.

Метод расчета электрических зарядов основывался на исследовании среднего потребления энергии для наиболее загруженной смены и расчетного коэффициента. Были найден коэффициент использования и коэффициент мощности в зависимости от типа электрооборудования, используемого в конкретном цехе. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Результаты расчетов электрических зарядов позволили выбрать цеховые трансформаторы и компенсирующих установок. Для экономии и оптимального выбора были объединены нагрузки маломощных и дистанционных цехов. Результаты отбора цеховых трансформаторов и компенсирующих установок приведены в таблице 5.

Для обеспечения эффективного позиционирования АПГ были проведены расчеты и картирование нагрузок. Полученные из картограммы данные позволили определить координаты расположения главной понизительной подстанции, определив центры активных и реактивных нагрузок.

Был сделан выбор трансформаторов, а рациональное напряжение, рассчитанное по формуле составляло 110 кВ. в качестве трансформаторов были выбраны два трансформатора ТМН-16000/110.

Рассчитывались токи короткого замыкания, для подбора оборудования со стороны 6 кв. После определения токов короткого замыкания производился отбор защитно-измерительной аппаратуры со стороны 6 кв. Выбор оборудования проводился в пункте 8. Проводилась проверка автоматических выключателей трансформаторных подстанций, трансформаторов тока, разъединителей.

Список используемых источников

1. Амперметр щитовой на переднюю панель 0-9999 через трансформатор тока калиброванный класс точности 1 ЕКФ am-d961 ad-961 [Электронный ресурс]. <https://e-ks.ru/cena/ampermetr-am-d961-tsifrovoj-na-panel-96h96->
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
4. Выбор схемы электрических соединений ГПП [Электронный ресурс]. –URL: <https://studfile.net/preview/2899579/page:7/> (дата обращения 29.08.2021)
5. Выбор трансформаторов ГПП [Электронный ресурс]. –URL: <https://studfile.net/preview/2899579/page:6/> (дата обращения 25.08.2021)
6. Выключатели газовые трехполюсные серии ВГТ-СЭЩ-110. Техническая информация ТИ – 2102018. [Электронный ресурс]. https://www.electroshield.ru/upload/iblock/654/Tekhnicheskaya-informatsiya-TI_210_2018-_versiya-1.0_.pdf (дата обращения 13.10.2021)
7. Выключатель вакуумный типа ВВУ-СЭЩ-Э-10-31,5(40)/3150 [Электронный ресурс]. –URL: https://www.electroshield.ru/upload/iblock/54c/re_vvu_e_256.015_10_31_5_electroshield.ru.pdf (дата обращения 22.08.2021)
8. ГОСТ 12965-85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110 и 150 кВ. Технические условия (с Изменением N 1, 2, 3) [Электронный ресурс]. Дата введения: 01.05.1992. <http://docs.cntd.ru/document/1200012412> (дата обращения 24.09.2021)

9. ГОСТ 14209-85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением N 1) [Электронный ресурс]. Дата введения: 1985-07-01. <http://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения 24.09.2021)

10. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках.

11. ГОСТ 32966-2014. Установки электрические зданий. [Электронный ресурс]. –URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115784> (дата обращения 20.08.2021)

12. ГОСТ Р 50571. Электроустановки зданий. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.sonel.ru/ru/biblio/standards/gost-50571/> (дата обращения: 05.10.2021).

13. ГОСТ Р 50571.3-2009 (МЭК 60364-4-41:2005). Электроустановки низковольтные. [Электронный ресурс]. –URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200082275#7D20K3> (дата обращения 16.08.2021)

14. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учебник / Е.А. Конюхова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2014. – 510 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72338>

15. Сопротивление металла. [Электронный ресурс]. –URL: https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/17915/2017_581_bondare_nkoav.pdf?sequence=1 (дата обращения 22.08.2021)

16. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. Полуянович Н.К. Издательство «Лань» 2019г. – 396 стр. (дата обращения: 05.10.2021).

17. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2018. – 416 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=953158&spec=1>

18. Основные требования к цеховым системам электроснабжения (СЭС) [Электронный ресурс]. –URL: <https://extxe.com/22568/jelektrosnabzhenie->

19. Основополагающие нормативные документы по электроустановкам. [Электронный ресурс]. –URL: https://slavenergo.ru/kondensatornaja_ustanovka_nizkovoltnaja?yclid=3454611187887274336 (дата обращения 12.08.2021)

20. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд. - М.: Изд-во НЦ

21. Расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ

22. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ [Электронный ресурс]. <http://docs.cntd.ru/document/1200035481> (дата обращения 13.10.2021)

23. СлавЭнерго. Конденсаторные установки 0,4 - 0,69 кВ. [Электронный ресурс]. –URL: https://slavenergo.ru/kondensatornaja_ustanovka_nizkovoltnaja?yclid=3454611187887274336 (дата обращения 12.08.2021)

24. Соединения контактные электрические. ГОСТ 17441-84 [Электронный ресурс]. –URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006325#7D20K3> (дата обращения 16.08.2021)

25. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. [Электронный ресурс]. –URL: <https://electromontaj-proekt.ru/normativnye-dokumenty/osnovopolagayushchie-normativy/sp-256-1325800-2016/> (дата обращения 15.08.2021)

26. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035252> (дата обращения 08.08.2021)

27. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. [Электронный ресурс] URL:

28. СТО 56947007- 29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС.) [Электронный ресурс]. Дата введения: 25.08.2017. http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.10.248-2017.pdf

(дата обращения 06.10.2021)

29. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010 Рекомендации по применению

30. СТО 56947007-29.240.30.010-2008 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. [Электронный ресурс]. Дата введения: 20.12.2007. <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.010-2008.pdf> (дата обращения 10.10.2021)

31. Текущий осмотр цеховых электроустановок. Техника безопасности. [Электронный ресурс]. –URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/98/84.htm> (дата обращения 22.08.2021)

32. Типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ. [Электронный ресурс]. Дата введения 16.06.2010. <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.047-2010.pdf> (дата обращения 10.10.2021)

33. Трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10 техническая информация (справочная) ОРТ.135.001 ТИ [Электронный ресурс]. –URL: https://www.electroshield.ru/upload/iblock/ccd/TOL_CESHCH_10-ORT.135.001-TI-_10.1-_10M_-27.11.19.pdf (дата обращения 20.08.2021)

34. ТШЛ-СЭЩ 10, 20 кВ [Электронный ресурс]. <https://www.electroshield.ru/catalog/transformatory-izmeritelnie/tshl-seshch-10-20/> (дата обращения 11.10.2021)

35. Ц301/1-Ю – Ваттметры и варметры [Электронный ресурс]. http://www.elpriz.ru/cgi-bin/catalog/viewpos.cgi?in_id=364 (дата обращения

36. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие: учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд., испр. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2019. – 214 с. – (Среднее профессиональное

образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1009603>

37. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 136 с. – (Среднее профессиональное образование). –

Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1000152>

38. Электроснабжение - цех [Электронный ресурс]. –URL: <https://www.ngpedia.ru/id614295p1.html> (дата обращения 22.08.2021)

39. Электроснабжение цеха по механической и термической обработке

40. Электротехнические устройства. Актуализированная редакция СНиП 3.05.06-85 [Электронный ресурс]. –URL: <https://docs.cntd.ru/document/456050591> (дата обращения 15.08.2021)

41. Электрощит Самара. [Электронный ресурс]. <https://www.electroshield.ru/> (дата обращения 06.08.2021)

42. ЭНАС. (дата обращения 11.08.2021)

43. Daza S.A. Electric Power System Fundamentals. London: Artech House, 2016. 388 p.

44. Fofana I., Hadjadj Y. Electrical-Based Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers. Power Transformer Diagnostics, Monitoring and Design Features, 2016. 256 p.

45. Informatsiya - TI_210_2018-_version-1.0_.pdf (accessed 13.10.2021)

46. Khan S., Ahmed G. Industrial power systems. Boca Raton: CRC Press, 2016. 488 p.

47. Monitoring. Technical University of Sofia, Faculty of Electrical Engineering, Boulevard “Sveti Kliement Ohridski” 8, Sofia, 1000, Bulgaria, 2017. 418 p.

48. Norms of technological design. Design of electrical supply of industrial enterprises (instead of СН 174-75). [Electronic Resource] URL: https://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/ntp/6.pdf (accessed: (05.10.2021)

49. Panel ammeter on the front panel 0-9999 through a current transformer calibrated accuracy class 1 EKF AM-d961 AD-961 [Electronic resource]. <https://e-kc.ru/cena/ampermetr-am-d961-tsifrovoj-na-panel-96h96-odnofaznyj-proxima-ekf-am-d961> (accessed 03.11.2020)

50. Rexhepi V. An Analysis of Power Transformer Outages and Reliability source]. [https://www.electroshield.ru/upload/iblock/654/Tekhnicheskaya-Surya S., Wayne Beaty H. Standard Handbook for Electrical Engineers, Seventeenth Edition. - McGraw Hill Professional, 2017. 368 p.](https://www.electroshield.ru/upload/iblock/654/Tekhnicheskaya-Surya_S.,_Wayne_Beaty_H._Standard_Handbook_for_Electrical_Engineers,_Seventeenth_Edition._-McGraw_Hill_Professional,_2017._368_p.)

51. Three-pole gas switches of the VGT-SESH-110 series. Technical information TI-2102018. [Electronic Resource] URL: https://gostbank.monorg.ru/data/norms_new/ntp/6.pdf (accessed: (05.10.2021)