

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 агрегата аммиака ПАО «Тольяттиазот»»

Студент

Н.А. Клочков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Л. Спиридонов

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

Тольятти 2020

АННОТАЦИЯ

Тема данной квалификационной работы: «электроснабжение агрегата аммиака ПАО «Тольяттиазот»». Выпускная работа состоит из пояснительной записки на 64 страницы, введения, включая 6 рисунков и 25 таблиц, десяти глав, списка из 30 источников литературы и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения завода ПАО «Тольяттиазот», г. Тольятти. Затрагивается проблема электроснабжения силовых и осветительных установок в условиях промышленного предприятия.

Целью работы является разработка системы электроснабжения агрегата производства аммиака.

В работе описывается организация технологического процесса производства аммиака, сведения и характеристики потребителей электроэнергии с учетом категории надежности. На основании графика нагрузок предприятия производится расчет типа числа и мощности силовых трансформаторов ГПП.

Проектирование системы электроснабжения выполняется с учетом обоснования схемы и напряжения питания. Выполняется расчет основного оборудования подстанций и кабельных линий питания потребителей.

Выполняются расчеты РЗ и А трансформаторов ГПП, системы молниезащиты и заземления подстанции

По итогу работы цель была достигнута. Технические решения, применяемые в данной работе актуальны не только для системы электроснабжения агрегата производства аммиака ПАО «Тольяттиазот», но также и для других промышленных предприятий различных отраслей.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Технологический процесс получения аммиака.....	7
2 Расчет нагрузок агрегата по производству аммиака.....	10
2.1 Расчет электрических нагрузок производства	10
2.2 Расчет системы освещения.....	12
3 Расчёт мощности силовых трансформаторов внутризаводских КТП	14
3.1 Выбор трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.....	14
4 Расчет параметров трансформаторов ГПП	19
4.1 Построение графика нагрузок завода	19
4.2 Техничко – экономический расчет трансформаторов.....	22
4.2.1 Расчет потерь в трансформаторах в режиме холостого хода и короткого замыкания.....	22
4.2.2 Расчет издержек.....	28
5 Обоснование выбора напряжения и схемы распределительной сети	30
6 Расчет токов короткого замыкания	32
6.1 Расчёт схемы замещения	32
6.1.1 Расчет сопротивления кабельных линий.....	34
6.1.2 Расчет токов короткого замыкания в точке K_1	34
6.1.3 Расчет токов короткого замыкания в точке K_2 и K_3	36
6.1.4 Расчет токов короткого замыкания в точке K_4	38
7 Расчет и выбор электрооборудования и проводников	42
7.1 Расчет кабельных линий 110 и 10 кВ.....	42
7.2 Выбор трансформатора тока на 110 кВ	43
7.3 Выбор ограничителей перенапряжения на классы напряжения 110 кВ и 10 кВ	45
7.4 Выбор заземлителей.....	46
7.5 Выбор ячеек КРУ и выключателей на класс напряжения 10кВ.....	47

7.6 Выбор трансформаторов напряжения.....	47
8 Расчет параметров РЗ и А.....	49
9 Расчет заземления ГПП	52
10 Расчет молниезащиты ГПП.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ	60

ВВЕДЕНИЕ

Исследования различных ученых показывают, что существует реальная перспектива повышения уровня электрификации различных производственных и непроизводственных объектов. Многообразие факторов, которые необходимо учитывать при проектировании электроснабжения предприятий разных отраслей промышленности, повышает требования к разрабатываемым схемам и оборудованию в плане надежности, безопасности, удобству эксплуатации и экономичности.

Одной из важнейших систем любого современного промышленного предприятия является система электроснабжения. Её главная задача – бесперебойное снабжение электрической энергией установок и агрегатов различных классов напряжения, участвующих в технологических процессах производства.

Общей чертой систем электроснабжения промышленных предприятий можно считать их систему распределения электроэнергии, которая транспортирует этот вид энергоресурса к потребителям. Такие системы нашли широкое применение на различных заводах по причинам целесообразности их внедрения на практике, которые зависят, в свою очередь, от категории отдельных цехов, корпусов, их отдельных агрегатов и установок.

Как известно, категория надежности электроснабжения того или иного потребителя определяет сложность построения схемы его электроснабжения, количество источников питания и линий связи между ними и потребителями, их зависимость или независимость друг от друга и другие факторы. Поэтому спроектированная система электроснабжения должна отвечать современному развитию науки и техники и опираться на самые актуальные технические разработки. Иначе, в результате применения ненадежного и не зарекомендовавшего себя электрооборудования на практике, а также нерациональная конфигурация системы электроснабжения,

эта система может потерять свою устойчивость к различным факторам, способным спровоцировать аварию на производственном объекте. При этом требуемое качество электроэнергии, естественно, обеспечено не будет.

Объекты химической промышленности относятся к опасным производственным объектам со своими требованиями безопасности и своей спецификой. В частности, такая опасность кроется в особенностях организации и осуществления технологических процессов, эксплуатации электрооборудования и других факторах. Поэтому правильная организация и эксплуатация всех систем завода, в том числе и системы электроснабжения, а также четкое соблюдение техники безопасности в совокупности с этими процессами будет способствовать безопасному и эффективному функционированию предприятия и его процветанию.

Объект исследования – химический завод ПАО «Тольяттиазот», г. Тольятти.

Предмет исследования – система электроснабжения агрегата производства аммиака.

Цель ВКР – электроснабжение агрегата производства аммиака.

Цель – электроснабжение агрегата производства аммиака.

Задачи ВКР следующие:

- 1) дать общие сведения производстве аммиака;
- 2) произвести расчет ожидаемых электрических нагрузок предприятия;
- 3) выбрать трансформаторы на подстанциях с низшим напряжением 0,4 кВ с учетом компенсации реактивной мощности и трансформаторы ГПП;
- 4) рассчитать токи короткого замыкания в системе электроснабжения;
- 5) произвести расчет и выбор электрооборудования и проводников в системе электроснабжения предприятия;
- 6) рассчитать релейную защиту и автоматику трансформаторов ГПП;
- 7) произвести расчет заземления и молниезащиты.

1 Технологический процесс получения аммиака

Современный способ получения аммиака представляет собой сложный технологический процесс, состоящий из целого ряда этапов.

Технологический процесс синтеза аммиака идет в восемь этапов. На рисунке 1.1 показана схема производственного процесса.

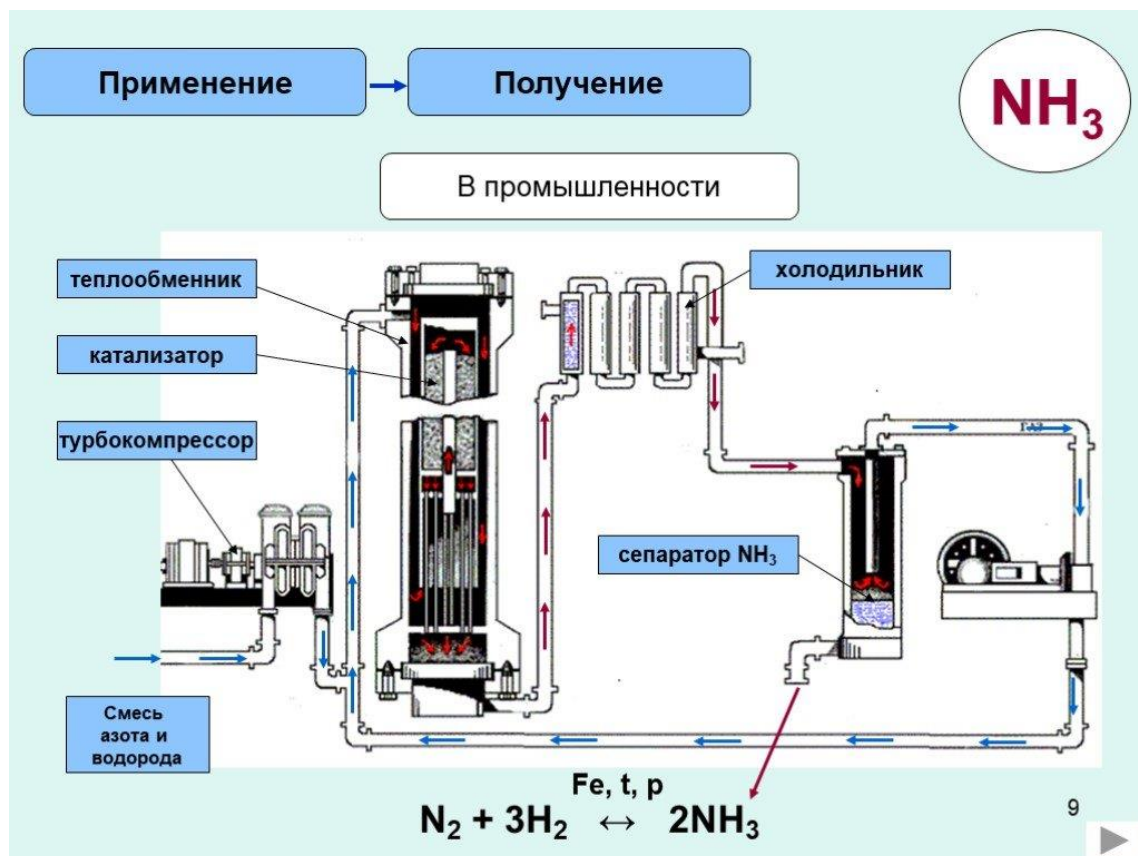
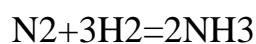


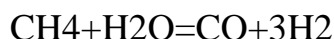
Рисунок 1.1 – Упрощенная схема технологического процесса

Производят аммиак в процессе синтеза водорода и азота. Процесс синтеза происходит при соблюдении двух важнейших условий температура (380-450 °С) и давление (250 атм.). В качестве катализатора химического процесса используется железо.

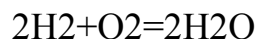


Азот выделяют напрямую из атмосферного воздуха. Процесс получения водорода идет из восстановленного пара с использованием таких веществ, как метан, лигроин или природный газ. Лигроин получают в процессе нефтяного крекинга.

Далее подробно рассмотрим каждый этап производственного процесса. В первую очередь природный газ очищают от серы, так как она является каталитическим ядом. Далее из перегретого пара под давлением в тридцать атмосфер и температуре семь с половиной тысяч градусов по Цельсию выделяют водород. В качестве катализатора выступает никель. Процесс идет согласно формуле:

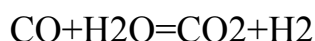


На третьей стадии запускают воздух, при этом часть водорода сгорает в кислороде воздуха. Результатом является угарный газ и азот в смеси с водяным паром.



Процесс схож со стадией № 2, так как на ней идет восстановление пара с образованием водорода.

На четвертой стадии угарный газ, образовавшийся на первых стадиях, окисляется до углекислого газа, происходит следующая химическая реакция:



Эта реакция проходит в два этапа при разных температурных условиях. В первом случае при температуре 400 °С в качестве катализатора применяется оксид железа, во втором медь при температуре 220 °С. Данные реакции называют реакциями «сдвига».

На пятой стадии из полученной смеси газов «вымывают» углекислый газ. Для этих целей применяется раствор карбоната калия. Углекислый газ в дальнейшем сбрасывают в атмосферу или преобразуют в мочевины путем перевода в жидкую фазу.

Остатки угарного газа в получившейся смеси преобразуют в метан применяя паровую конверсию. Эта реакция происходит при температуре в 325 °С, в качестве катализатора используют никель.

На следующей стадии полученную газовую смесь сжимают до двухсот атмосфер. Так как при сжатии температура смеси увеличивается её необходимо охладить.

На финальной стадии происходит процесс получения аммиака. Для этого смесь, полученную в результате семи предыдущих этапов, перекачивают в каталитический конвертер. Здесь с использованием железного катализатора получают аммиак, в конденсаторе его переводят в жидкую фазу и перекачивают в приемную ёмкость. Не все газы вступают в реакцию, поэтому остатки возвращаются обратно в конвертер и цикл повторяется.

2 Расчет нагрузок агрегата по производству аммиака

2.1 Расчет электрических нагрузок производства

Для расчета воспользуемся методом группировки нагрузок.

Имеющиеся электроприемники в соответствии с местом их подключения объединим в группы. Основным условием объединения является схожая нагрузочная характеристика.

Для получившихся групп потребителей рассчитаем следующие параметры:

1) $P_{ср.}$ – средняя активная мощность в максимально загруженный промежуток времени. За промежуток времени примем рабочую смену. В расчете используем формулу:

$$P_{ср.i} = K_{И} \cdot \sum P_{ном.i}, \quad (2.1)$$

$K_{И}$ – коэффициент использования группы приемников электроэнергии.

$P_{ном.i}$ – номинальная мощность приемников электроэнергии.

2) $Q_{ср.i}$ – средняя реактивная мощность в максимально загруженный промежуток времени. За промежуток времени примем рабочую смену. В расчете используем формулу:

$$Q_{ср.i} = \sum P_{ср.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.2)$$

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент мощности группы.

Далее произведём расчет средней активной и реактивной мощности по сумме потребителей электроэнергии:

$$P_{ср. \Sigma} = \sum_k P_{ср.i}, \quad (2.3)$$

$$Q_{ср. \Sigma} = \sum_k Q_{ср.i}, \quad (2.4)$$

Определим средневзвешенный коэффициент $K_{Иср.}$ (коэффициент использования) для всех групп приёмников электроэнергии.

$$K_{Иср.} = \frac{P_{ср. \Sigma}}{\sum P_{ном}}, \quad (2.5)$$

Найдём приведенное число потребителей электроэнергии $n_{\text{Э}}$ для групп приёмников электроэнергии:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum_{i=1}^m n_i \cdot P_{\text{Н.Э}i})}{\sum n_i \cdot P_{\text{Н.Э}i}^2}, \quad (2.6)$$

n_i – приведенное число приемников электроэнергии.

$P_{\text{Н.Э}i}$ – номинальная мощность приведенного приемника электроэнергии. Она определяется отношением суммарной мощности группы приемников электрической энергии к приведённому числу приемников.

$$P_{\text{Н.Э}i} = \frac{P_{\text{Н}i}}{n_i}, \quad (2.7)$$

В результате расчетов можно получить следующее $n_{\text{Э}} > n$, в таком случае принимаем $n_{\text{Э}} = n$.

Следующим этапом определим коэффициент максимума нагрузок, для этого воспользуемся методом упорядоченных диаграмм:

$$K_{\text{М}} = f(K_{\text{испр}i}, n_{\text{Э}}), \quad (2.8)$$

Определим расчетные значения активной и реактивной мощности:

$$P_{\text{расч.}} = K_{\text{М}} \cdot \sum P_{\text{ср.}\Sigma}, \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{расч.}} = K_{\text{М}} \cdot \sum Q_{\text{ср.}\Sigma}, \quad (2.10)$$

Коэффициент максимума в случае $n_{\text{Э}} \leq 10$ принимаем $K_{\text{М}} = 1,1$, если $n_{\text{Э}} > 10$ $K_{\text{М}} = 1$.

Расчет полной мощности произведём по формуле:

$$S_{\text{расч.}} = \sqrt{P_{\text{расч.}}^2 + Q_{\text{расч.}}^2} \quad (2.11)$$

2.2 Расчет системы освещения

В расчете нагрузок системы освещения применим метод коэффициента использования светового потока.

Активная мощность системы освещения равна:

$$P_{\text{осв.}} = 37,61 \text{ кВт},$$

$P_{\text{расч.}}$ для системы освещения определим по формуле:

$$P_{\text{расч.}} = K_c \cdot P_{\text{ср.}\Sigma}, \quad (2.12)$$

K_c для зданий с множеством помещений принимаем 0,55.

$$P_{\text{расч.}} = 37,61 \cdot 0,55 = 20,69 \text{ кВт},$$

$Q_{\text{расч.}}$ для системы освещения определим по формуле:

$$Q_{\text{расч.}} = P_{\text{расч.}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (2.13)$$

$\text{tg}\varphi$ для системы освещения принимаем равным 1,33

$$Q_{\text{расч.}} = 20,69 \cdot 1,33 = 27,5 \text{ квар},$$

Определим полную расчетную мощность

$$S_{\text{расч.}} = \sqrt{P_{\text{расч.}}^2 + Q_{\text{расч.}}^2} \quad (2.14)$$

$$S_{\text{расч.}} = \sqrt{20,69^2 + 27,5^2} = 34,42 \text{ кВА}.$$

Расчет нагрузок сведём в таблицу 2.1

Таблица 2.1 - Расчет нагрузок ГПП

№ п/п	Наименование электроприёмников	Число электроприёмников, n	Установленная мощность приведённая к ПВ=100%		m	K _и	tgφ	Средняя мощность		K _м	Расчетная мощность		
			Мощность одного ЭП, кВт	Мощность всех ЭП, кВт				P _{ср.} , кВт	Q _{ср.} , квар		P _{расч.} , кВт	Q _{расч.} , квар.	S _{расч.} , кВА
1	ТП-7	106	1,2 - 75	1838,40	>3	0,65	0,74	1193,12	886,49	1,12	1336,30	992,87	1664,77
2	ТП-1	381	0,72 - 210	3783,60	>3	0,65	0,66	2470,69	1625,71	1,12	2767,17	1820,80	3312,49
3	ТП-2	85	0,3 - 110	1060,79	>3	0,67	0,68	711,79	485,44	1,14	811,44	553,40	982,19
4	ТП-3	210	0,014 - 320	2424,39	>3	0,60	0,71	1447,36	1030,52	1,14	1649,99	1174,80	2025,49
5	ТП-4	431	0,3-110	4033,91	>3	0,63	0,77	2545,40	1962,50	1,00	2545,40	1962,50	3214,10
6	ТП-6	199	0,8-210	4452,59	>3	0,53	0,76	2368,78	1809,75	1,11	2629,34	2008,82	3308,90
7	ТП-8	168	0,3-260	2545,43	>3	0,31	0,56	794,17	442,36	1,59	1262,74	703,35	1445,41
8	СД 10 кВ	6	2000	12000,00	<3	0,90	0,62	10800,00	6696,00	1,04	11232,00	6963,84	13215,63
	Итого	1586	0,014-2000	32139,12	>3	0,62	0,69	22331,32	14938,77	1,16	24234,39	16180,37	29168,98
	Доп. нагрузка												6500
	Суммарно по ГПП												35168,98

3 Расчёт мощности силовых трансформаторов внутризаводских КТП

3.1 Выбор трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

Состав основного оборудования и схема КТП определяется требованиями правил устройства электроустановок, в зависимости от категорий потребителей, подключаемых к конкретной подстанции.

Для питания потребителей первых двух категорий применяется КТП с двумя силовыми трансформаторами. Потребителей третьей категории, как правило запитывают от однострансформаторной подстанции.

Число силовых трансформаторов ТП определим согласно формуле [4]:

$$N_0 = \frac{P_{\text{расч.}}}{K_3 \cdot S_{\text{ном.т}}} \quad (3.1)$$

$P_{\text{расч.}}$ – расчетная активная мощность из таблицы 2.1.

K_3 – загрузка трансформирующего устройства КТП (по рекомендациям [4] принимается равным 0,7 для двухтрансформаторных подстанций и 0,9 – для однострансформаторных подстанций).

$S_{\text{ном.т}}$ – выбранная номинальная мощность цеховых ТП.

Выбор состава трансформаторных подстанций выполним в форме таблицы 3.1. К установке принимается ближайшее большее целое число N по формуле (3.1).

Согласно данным расчетов из таблицы (3.1) можно сделать вывод, что количество и мощность трансформаторов, установленных на ТП полностью соответствует требованиям правил устройства электроустановок.

В таблицу (3.2) сведём паспортные данные оборудования.

Таблица 3.1 – Выбор числа и мощности трансформаторов на предприятии

Наименование электроприёмников	Расчетная активная нагрузка $P_{расч}$, кВт	Категория надежности	Рекомендуемый коэффициент загрузки трансформатора	Принято					
				Мощность тр-ров на ТП	Минимальное число тр-ров на ТП	Число тр-ров на ТП расчетное	Число тр-ров на ТП принятое	Фактический коэффициент загрузки	Количество ТП
ТП-7	1336,3	I	0,7	1600	2	1,19	2	0,42	1
ТП-1	2767,17	I	0,7	2500	2	1,58	2	0,55	1
ТП-2	811,44	I	0,7	1000	2	1,16	2	0,41	1
ТП-3	1649,99	I	0,7	2500	2	0,94	2	0,33	1
ТП-4	2545,4	I	0,7	2500	2	1,45	2	0,51	1
ТП-6	2629,34	I	0,7	1600	2	2,35	2	0,82	1
ТП-8	1262,74	I	0,7	1600	2	1,13	2	0,39	1

Таблица 3.2 – Паспортные данные трансформаторов, установленных на ТП

№ ТП	Тип трансформатора	$U_{ном}$, кВ	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	U_k , %	I_x , %
ТП-7	ТМЗ – 1600/10/0,4 кВА	10/0,4	2,65	16,5	6	1
ТП-1	ТМЗ – 2500/10/0,4 кВА	10/0,4	3,75	24,0	6	0,8
ТП-2	ТМЗ – 1000/10/0,4 кВА	10/0,4	3,75	24,0	5,5	1,2
ТП-3	ТМЗ – 2500/10/0,4 кВА	10/0,4	3,75	24,0	6	0,8
ТП-4	ТМЗ – 2500/10/0,4 кВА	10/0,4	3,75	24,0	6	0,8
ТП-6	ТМЗ – 1600/10/0,4 кВА	10/0,4	2,65	16,5	6	1
ТП-8	ТМЗ – 1600/10/0,4 кВА	10/0,4	2,65	16,5	6	1

Далее выполним расчет потерь электрической энергии в трансформаторах ТП:

$$\Delta P_T = 2 \cdot \Delta P_X + \frac{\Delta P_K}{2} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{НОМ}} \right)^2, \quad (3.2)$$

$$\Delta Q_T = 2 \cdot \frac{I_X S_{НОМ}}{100} + \frac{U_{K\%} \cdot (S_p)^2}{2 \cdot 100 \cdot S_{НОМ}}. \quad (3.3)$$

Данные расчетов сведём в таблицу 3.3.

Суммарная расчётная нагрузка завода составит:

$$P_{P\Sigma} = P_{расч.} + \Delta P_T = 13002,39 + 157,2 = 13159,59 \text{ кВт.}$$

Таблица 3.3 – Расчет потерь мощности в трансформаторах ТП 10/0,4

№ ТП	Номинальная мощность одного трансформатора из двух на ТП	ΔP_X , кВт	ΔP_K , кВт	Расчетная полная мощность ТП, $S_{расч.}$, кВА	U_K , %	I_X , %	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВар
ТП-7	1600	2,65	16,5	1664,77	6	1	14,23	83,96
ТП-1	2500	3,75	24,0	3312,49	6	0,8	28,57	171,67
ТП-2	1000	3,75	24,0	982,19	5,5	1,2	19,08	50,53
ТП-3	2500	3,75	24,0	2025,49	6	0,8	15,38	89,23
ТП-4	2500	3,75	24,0	3214,10	6	0,8	27,33	163,97
ТП-6	1600	2,65	16,5	3308,90	6	1	40,58	237,29
ТП-8	1600	2,65	16,5	1445,41	6	1	12,03	71,17
ИТОГО							157,20	867,82

Определим мощность компенсирующих устройств согласно [4, 6, 7].
Для этого рассчитаем суммарную реактивную мощность завода без высоковольтных потребителей.

$$Q'_{\Sigma 1} = Q_p, \quad (3.4)$$

А также в зависимости от условий компании поставщика электроэнергии.

$$Q''_{\text{Э1}} = \alpha P_{\text{P\Sigma}}, \quad (3.5)$$

α – расчетный коэффициент, установленный предприятиям энергосистемой в соответствии с условиями получения активной и реактивной мощности. Для напряжения 110 кВ и энергосистемы Средней Волги данное значение составляет 0,28 [7].

В соответствии с формулами (3.4)-(3.5) получаем:

$$Q'_{\text{Э1}} = Q_p = 16180,37 \text{ кВар},$$
$$Q''_{\text{Э1}} = 0,28 \cdot 13159,59 = 3684,7 \text{ кВар},$$

Выполним расчет компенсирующих устройств на напряжении 0,4 кВ. В качестве устройств компенсации реактивной мощности применим устройства автоматической компенсации.

Расчет произведем по формуле [4]:

$$Q_1 = \sqrt{(1,1 \cdot N \cdot K_3 \cdot S_{\text{НОМ.Т}})^2 - P_p^2}. \quad (3.7)$$

Мощность компенсирующих устройств рассчитаем по формуле:

$$Q_{\text{НБК.расч}} = 0,5 \cdot (Q_p - Q_1), \quad (3.8)$$

Коэффициент 0,5 свидетельствует об установке устройств компенсации на двух секциях сборных шин низшего напряжения.

Расчет мощности выполним в форме таблицы 3.4.

Суммарная мощность ККУ планируемых к установке 1740 кВар.

Таблица 3.5 – Расчет мощности низковольтных батарей конденсаторов и выбор их типов, устанавливаемых на каждую секцию НН ТП

№ ТП	Номинальная мощность тр-ра ТП	N, шт.	Kз	Pрасч., кВт	Q ₁ , кВаp	Q _p , кВаp	Q _{НБК,расч} , кВар	Q _{НБКфакт} , кВар	Тип регулируемой НБК (КУ)
ТП-7	1600	2	0,42	1336,30	632,43	992,87	180,22	180	АУКРМ-ЭМ 0,4-180
ТП-1	2500	2	0,55	2767,17	1222,05	1820,80	299,38	300	АУКРМ-ЭМ 0,4-300
ТП-2	1000	2	0,41	811,44	393,92	553,40	79,74	80	АУКРМ-ЭМ 0,4-80
ТП-3	2500	2	0,33	1649,99	756,15	1174,80	209,33	200	АУКРМ-ЭМ 0,4-200
ТП-4	2500	2	0,51	2545,40	1178,54	1962,50	391,98	400	АУКРМ-ЭМ 0,4-400
ТП-6	1600	2	0,82	2629,34	1190,75	2008,82	409,04	400	АУКРМ-ЭМ 0,4-400
ТП-8	1600	2	0,39	1262,74	538,58	703,35	82,39	80	АУКРМ-ЭМ 0,4-80
Итого:								1740	

4 Расчет параметров трансформаторов ГПП

Распределительная сеть ПАО «Тольяттиазот» имеет класс напряжения 10 кВ. Питание от энергосистемы осуществляется на напряжении 110 кВ. Основная часть потребителей ПАО «Тольяттиазот» имеет первую категорию электроснабжения. Из этого следует что ГПП должна иметь классы напряжения 110/10 кВ и минимум два источника питания (трансформатора).

Для уменьшения токов короткого замыкания целесообразно применять трансформаторы с расщепленной обмоткой. Из ранее выполненных расчетов известна максимальная мощность нагрузки $S_{расч.} = 35168,98$ кВА. На основании этих данных выполним расчет мощности трансформаторов ГПП.

4.1 Построение графика нагрузок завода

Для расчетов необходимо построить график нагрузки завода.

Данные для построения графика нагрузки возьмем из таблицы 4.1.

Таблица 4.1 – Данные годового графика нагрузок

№ ступени	Нагрузка ступени		Длительность ступени (час)
	Нагрузка %	Нагрузка кВА	
1	100	35168,98	700
2	90	31652,08	2100
3	82	28838,56	1780
4	70	24618,29	3200
5	45	15826,04	980

Расчет отпускаемой с ГПП электроэнергии выполним по следующей формуле:

$$W_{ПС} = \sum_{i=1}^K P_{iП}(t) \cdot t_{iП} \quad (4.1)$$

$$W_{ПС} = 35168,98 \cdot (1 \cdot 700 + 0,9 \cdot 2100 + 0,82 \cdot 1780 + \\ + 0,7 \cdot 3200 + 0,45 \cdot 980) \\ W_{ПС} = 236708336,8 \text{ кВА}$$

Продолжительность максимальной нагрузки в году:

$$T_M = \frac{W_{ПС}}{P_{МАХ.ПС}} \quad (4.2) \\ T_M = \frac{236708336,8}{35168,98} = 6730,6 \text{ ч.}$$

Коэффициент заполнения графика нагрузки:

$$K_{ЗАП} = \frac{T_M}{8760} \quad (4.3) \\ K_{ЗАП} = \frac{6730,6}{8760} = 0,77$$

График годовой нагрузки представлен на рисунке 4.1.

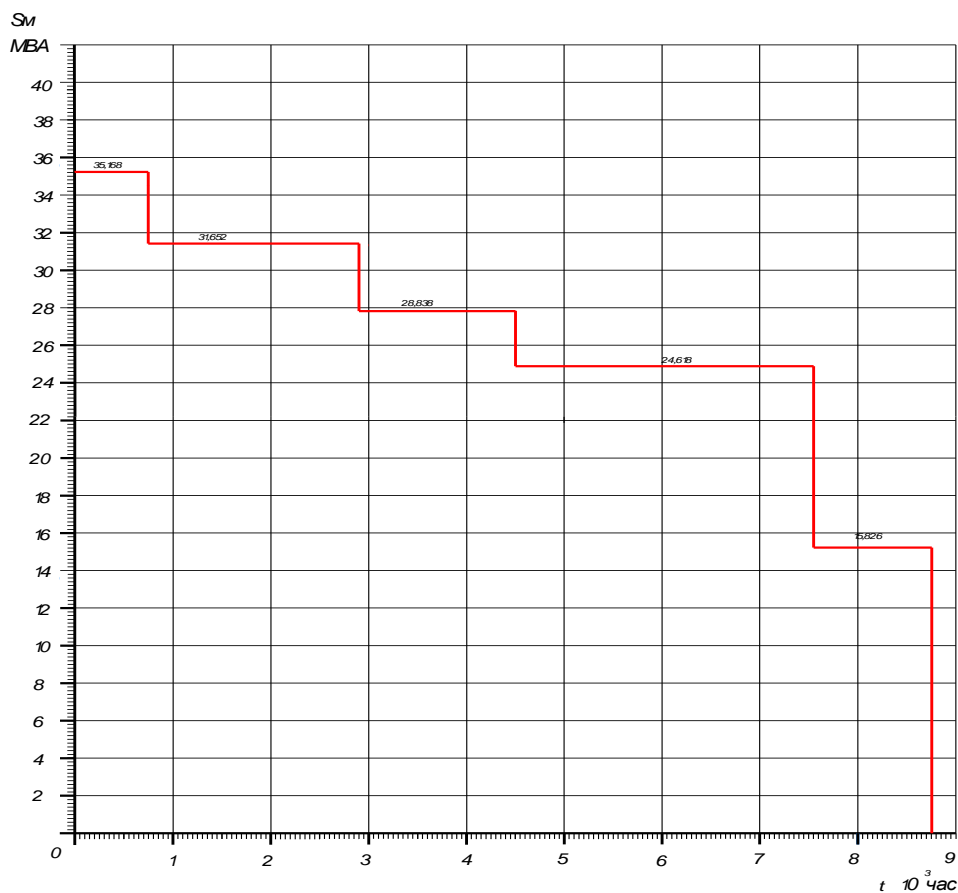


Рисунок 4.1 – График нагрузки ГПП ПАО «Тольяттиазот»

Для расчёта номинальной мощности трансформаторов ГПП с учетом допустимой перегрузки используем следующую формулу:

$$S_{номТ} = 0,7 \cdot S_{max} \quad (4.4)$$

$$S_{НОМ.Т} = 0,7 \cdot 35168,98 = 24618,29 \text{ кВА}$$

$$S_{НОМ.Т2} > S_{НОМ.Т1} \geq S_{НОМ.Т}$$

$$63 \text{ МВА} > 40 \text{ МВА} \geq 24,62 \text{ МВА}$$

Для дальнейших расчетов возьмем 2 варианта трансформаторов. Данные трансформаторов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Технические характеристики трансформаторов

№ Варианта	Тип Тр-ра	Номинальная Мощность, кВА	U _{ном} , кВ	ΔP _к , кВт	ΔP _х , кВт	U _к , %	I _х , %
1	ТРДН	40000	110/10/10	175	42	10,5	0,7
2	ТРДН	63000	110/10/10	3,75	24,0	6	0,8

4.2 Техничо – экономический расчет трансформаторов

Для принятия окончательного решения по выбору трансформаторов ГПП выполним технико – экономический расчет двух вариантов трансформаторов. Для этого рассчитаем потери в трансформаторах и издержки.

4.2.1 Расчет потерь в трансформаторах в режиме холостого хода и короткого замыкания

1. Приведенные потери активной мощности трансформатора в режиме х.х.:

$$P_x^{\dot{}} = P_x + K_{ин} \cdot Q_x \quad (4.5)$$

$K_{ин}$ – коэффициент изменения потерь. Величина данного коэффициента выбирается в зависимости от расстояния источника питания и варьируется в пределах от 0,02 до 0,2 кВт/кВар. В дальнейших расчетах примем равным 0.05 кВт/квар.

2. Потери реактивной мощности трансформатора на х.х.:

$$Q_{xx} = \frac{I_{xx\%}}{100} \cdot S_{ном\ m} \quad (4.6)$$

3. Напряжение короткого замыкания обмоток трансформатора:

$$U_{KB} = 0,125 \cdot U_{BH-HH} \quad (4.7)$$

$$U_{K.HH1} = U_{K.HH2} = 1,75 \cdot U_{BH-HH} \quad (4.8)$$

4. Потери реактивной мощности трансформатора в режиме к.з.:

$$Q_{KB} = \frac{U_{KB} \%}{100} \cdot S_{H.T} \quad (4.9)$$

$$Q_{K.HH1} = Q_{K.HH2} = \frac{U_{K.HH}}{100} \cdot S_{H.T} \quad (4.10)$$

5. Приведенные потери активной мощности трансформатора в режиме к.з.:

$$P'_{KB} = P_{KBH} + K_{III} \cdot Q_{KB} \quad (4.11)$$

$$P'_{KH-1} = P'_{KH-2} = P_{KH} + K_{III} \cdot Q_{KH} \quad (4.12)$$

$$P'_K = P'_{KH} + P'_{KB} \quad (4.13)$$

6. Коэффициент загрузки ВН обмотки трансформатора на *i*-ой ступени годового графика нагрузки:

$$K_{36} = \frac{S_{Bi}}{S_{НОМ.Т}} \quad (4.14)$$

$$K_{36} = \frac{36,5}{40} = 0,913$$

7. Коэффициент загрузки НН обмотки трансформатора на *i*-ой ступени годового графика нагрузки:

$$K_{зн} = \frac{S_{Bi}}{S_{НОМ.Т}} \quad (4.15)$$

8. Приведенные потери мощности:

$$P_T' = P_x' + K_{загр.в}^2 \cdot P_{к.вн}' + K_{загр.нн1}^2 \cdot P_{к.нн}' + K_{загр.нн2}^2 \cdot P_{к.нн}' \quad (4.16)$$

Расчет потерь мощности в трансформаторах выполним в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Расчет потерь мощности в трансформаторах

№ П/П	Расчётный параметр	ТРДН 40000	ТРДН 63000
1	$S_{НОМ.Т}$, кВА	40000	63000
2	n_i	2	2
3	$K_{ИП}$	0,05	0,05
4	ΔP_K , кВт	175	260
5	ΔP_X , кВт	42	59
6	U_k , %	10,5	10,5
7	I_x , %	0,7	0,65
8	P_X , кВт	56	79,5
9	Q_{XX} , кВар	280	409,5
10	$U_{КВ}$, %	1,31	1,31
11	$U_{К.НН1}$, %	18,38	18,38
12	$U_{К.НН2}$, %	18,38	18,38
13	$Q_{КВ}$, кВар	525,00	826,88
14	$Q_{К.НН1}$, кВар	7350,00	11576,25
15	$Q_{К.НН2}$, кВар	7350,00	11576,25
16	$P_{к.в.}$, кВт	26,25	41,34
17	$P_{к.нн1}$, кВт	717,50	1098,81
18	$P_{к.нн2}$, кВт	717,50	1098,81
19	P_K , кВт	743,75	1140,16
20	$S_{Э.ПС}$ кВА	15522,28	23522,78

9. Потеря электроэнергии холостого хода на i-й ступени годового графика нагрузки:

$$\Delta W_{xx} = n_T \cdot P_x' \cdot T_i \quad (4.17)$$

10. Суммарная потеря холостого хода:

$$\Delta W_{xx} = \Sigma \Delta W_{xx.i} \quad (4.18)$$

11. Потеря электроэнергии короткого замыкания на i -й ступени годового графика нагрузки:

$$\Delta W_{кз} = \frac{1}{n_T} \cdot P_{к.вн} \cdot K_{зв}^2 \cdot T_i + 2 \cdot \frac{1}{n_T} \cdot P_{к.нн} \cdot K_{зв}^2 \cdot T_i; \quad (4.19)$$

T_i – временной интервал величины нагрузки S_i на i -той ступени.

12. Суммарная потеря короткого замыкания:

$$W_{кз} = \Sigma \Delta W_{кз.i} \quad (4.20)$$

13. Потери электроэнергии в трансформаторах ПС:

$$\Delta W_{nc} = \Sigma \Delta W_{xi} + \Sigma \Delta W_{квi} + \Sigma \Delta W_{кн1i} + \Sigma \Delta W_{кн2i}. \quad (4.21)$$

14. Экономическая нагрузка $S_{э}$, ниже которой целесообразно отключать один из трансформаторов:

$$S_{э.пс} = S_{ном.т} \cdot \sqrt{n_T \cdot (n_T - 1) \cdot \frac{P_x}{P_k}}; \quad (4.22)$$

15. Суммарные потери электроэнергии

$$\Sigma \Delta W_k = \Delta W_{к.вн} + \Delta W_{к.нн1} + \Delta W_{к.нн2} \quad (4.23)$$

Расчет потерь электрической энергии в трансформаторах ТРДН-40000/110/10/10 и ТРДН-63000/110/10/10 выполним в таблице 4.4 и 4.5 соответственно.

Таблица 4.4 - Расчет потерь электроэнергии в трансформаторе ТРДН-40000/110/10/10

i	$S_{ВНi}$, кВА	$S_{НН1}$, кВА	$S_{НН2}$, кВА	n_i	T_i , ч	P_T	ΔW_{xi} , кВт*ч	$k_{3,Вi}$	$k_{3,ННi}$	$k_{3,ННi}$	$\Delta W_{к.Вi}$, кВт*ч	$\Delta W_{к.ННi}$, кВт*ч	$\Delta W_{к.ННi}$, кВт*ч
1	35168,98	17584,49	17584,49	2	700	353,62	78400	0,88	0,44	0,44	7102,27	48532,15	48532,15
2	31652,08	15826,04	15826,04	2	2100	297,07	235200	0,79	0,40	0,40	17258,50	117933,11	117933,11
3	28838,56	14419,28	14419,28	2	1780	256,12	199360	0,72	0,36	0,36	12143,57	82981,08	82981,08
4	24618,29	12309,15	12309,15	2	3200	201,83	358400	0,62	0,31	0,31	15909,08	108712,05	108712,05
5	15826,04	7913,02	7913,02	2	980	116,27	109760	0,40	0,20	0,20	2013,49	13758,86	13758,86
Итого по потерям эл.энергии					8760		981120				54426,91	371917,25	371917,25
											1779381,41		

Таблица 4.5 - Расчет потерь электроэнергии в трансформаторе ТРДН-63000/110/10/10

i	$S_{ВНi},$ кВА	$S_{НН1},$ кВА	$S_{НН2},$ кВА	n_i	$T_i, \text{ ч}$	P^{\wedge}_T	$\Delta W_{xi},$ кВт*ч	$k_{з.Вi}$	$k_{з.ННi}$	$k_{з.ННi}$	$\Delta W_{к.Вi},$ кВт*ч	$\Delta W_{к.ННi},$ кВт*ч	$\Delta W_{к.ННi},$ кВт*ч
1	35168,98	17584,49	17584,49	2	700	263,57	111265	0,56	0,28	0,28	4509,38	29961,95	29961,95
2	31652,08	15826,04	15826,04	2	2100	228,59	333795	0,50	0,25	0,25	10957,78	72807,53	72807,53
3	28838,56	14419,28	14419,28	2	1780	203,26	282931	0,46	0,23	0,23	7710,20	51229,44	51229,44
4	24618,29	12309,145	12309,145	2	3200	169,68	508640	0,39	0,20	0,20	10101,00	67114,79	67114,79
5	15826,04	7913,02	7913,02	2	980	116,75	155771	0,25	0,13	0,13	1278,41	8494,21	8494,21
Итого по потерям эл.энергии					8760		1392402				34556,77	229607,93	229607,93
												1886174,64	

4.2.2 Расчет издержек

1. Определяем стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах:

$$I_{\Delta W_{\text{ТС}}} = C_{\text{э,х}}(T_x) \cdot \Delta W_x + C_{\text{э,к}}(\tau) \cdot \Delta W_k \quad (4.24)$$

$C_{\text{э,х}}(T_x)$ - стоимость 1 кВт·ч потерь эл. энергии х.х. трансформаторов за время их работы в год;

$C_{\text{э,к}}(\tau)$ - стоимость 1 кВт·ч нагрузочных потерь эл. энергии трансформатора.

Для сравнения вариантов установки трансформаторов воспользуемся методом приведённых затрат.

2. Ежегодные эксплуатационные издержки:

$$I_{\text{э}} = P_{\text{сум}} \cdot K_1, \quad (4.25)$$

$P_{\text{сум}}$ – суммарный коэффициент отчислений.

K - капитальные затраты на установку двух трансформаторной ГПП.

3. Приведенные затраты:

$$Z_{\text{пр}} = E_n \cdot K + I_{\text{э}} + I \Delta W_{\text{нс}} \quad (4.26)$$

Расчет издержек выполним в виде таблицы выполним в таблице 4.6

Таблица 4.6 – Приведённые затраты на установку трансформаторов

№ п/п	Расчётный параметр	ТРДН 40000	ТРДН 63000
1	Стоимость потерь $I_{\text{впс}}$, руб.	1368569,734	1355559,77
2	ΔW_X , кВт*ч	981120	1392402
3	ΔW_K , кВт*ч	798261,41	493772,63
4	$C_{\text{э.х}}(T_x)$	0,648	0,648
5	$C_{\text{э.к}}(\tau)$	0,918	0,918
6	$I_{\text{э}}$, руб.	235000	282000
7	$P_{\text{сум}}$	0,094	0,094
8	K_I , руб.	2500000	3000000
9	$Z_{\text{пр}}$ руб.	2428569,734	2627559,77

В результате проведённых расчетов видно, что приведённые издержки на установку и эксплуатацию двухтрансформаторной ГПП с трансформаторами ТРДН 40000 меньше. Соответственно принимаем решение в сторону варианта 1.

5 Обоснование выбора напряжения и схемы распределительной сети

Питание от энергетической системы ПАО «ТоАЗ» получает на напряжении 110 кВ, что является наиболее надёжным и экономичным с точки зрения затрат решением.

Важным условием является близость потребителей к источнику питания. Монтаж кабельных линии 110 кВ от энергосистемы к ГПП выполнена под землёй. ГПП расположены в центре электрических нагрузок, что в свою очередь, также является одним из важнейших условий экономичности.

Сеть 0,4 кВ ПАО «ТоАЗ» питается от цеховых трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ. Питание крупных потребителей ПАО «ТоАЗ» осуществляется от цеховых распределительных устройств. Цеховые распределительные устройства в свою очередь получают электрическую энергию непосредственно с ГПП 110/10 кВ. Система электроснабжения завода выполнена по ступенчатому принципу.

Внутризаводская сеть 10 кВ соответствует современным требованиям к проектированию электроснабжения промышленных предприятий, так как данный класс напряжения является наиболее выгодным по экономическим соображениям. В сравнении с классом напряжения 6 кВ потери при транспортировке электрической энергии значительно ниже.

В сравнении с классом напряжения 6 кВ, 10 кВ имеет следующие преимущества:

1. Меньший ток оборудования распределительных устройств.
2. Меньшее сечение кабеля при той же мощности трансформатора.
3. Снижение значений токов короткого замыкания.

Электрическая сеть ПАО «ТоАЗ» выполнена по радиальной схеме, распределительные устройства имеют две секции сборных шин с автоматикой АВР. Это обуславливается тем что большинство потребителей завода имеют первую категорию надежности по ПУЭ. Это увеличивает надежность электроснабжения потребителей, так как выполняется условие резервирования. При всех своих плюсах радиальная схема имеет один недостаток в сравнении с магистральной – повышенный расход кабеля.

Предприятия химической промышленности предъявляют особые требования надежности и безопасности схемы электроснабжения производства. Следовательно, затраты на организацию магистральной схемы электроснабжения в данном случае полностью себя оправдывают.

Рассмотрев классы напряжения и возможные схемы построения системы электроснабжения агрегата по производству аммиака, для дальнейшего расчета принимаем классы напряжения 110 кВ, 10 кВ, и 0,4 кВ. Для питания наиболее ответственных потребителей выбираем радиальную схему электроснабжения.

6 Расчет токов короткого замыкания

Обязательным разделом проектирования систем электроснабжения является расчет токов короткого замыкания. По условиям расчета токов к.з. подбирается силовое оборудование подстанций (токоведущие части, коммутационная аппаратура, разрядники и т.д.)

Расчет токов короткого замыкания выполняется также с целью настройки срабатывания устройств релейной защиты.

В расчетах не учитывают ряд параметров, таких как динамика изменения частоты вращения синхронных двигателей, сдвиг фазы ЭДС, I намагничивания силовых трансформаторов и т.д.

6.1 Расчёт схемы замещения

Для расчета токов короткого замыкания выполним расчетную схему и схему замещения участка сети электроснабжения.

На рисунке 6.1 представлена схема для расчетов токов короткого замыкания.

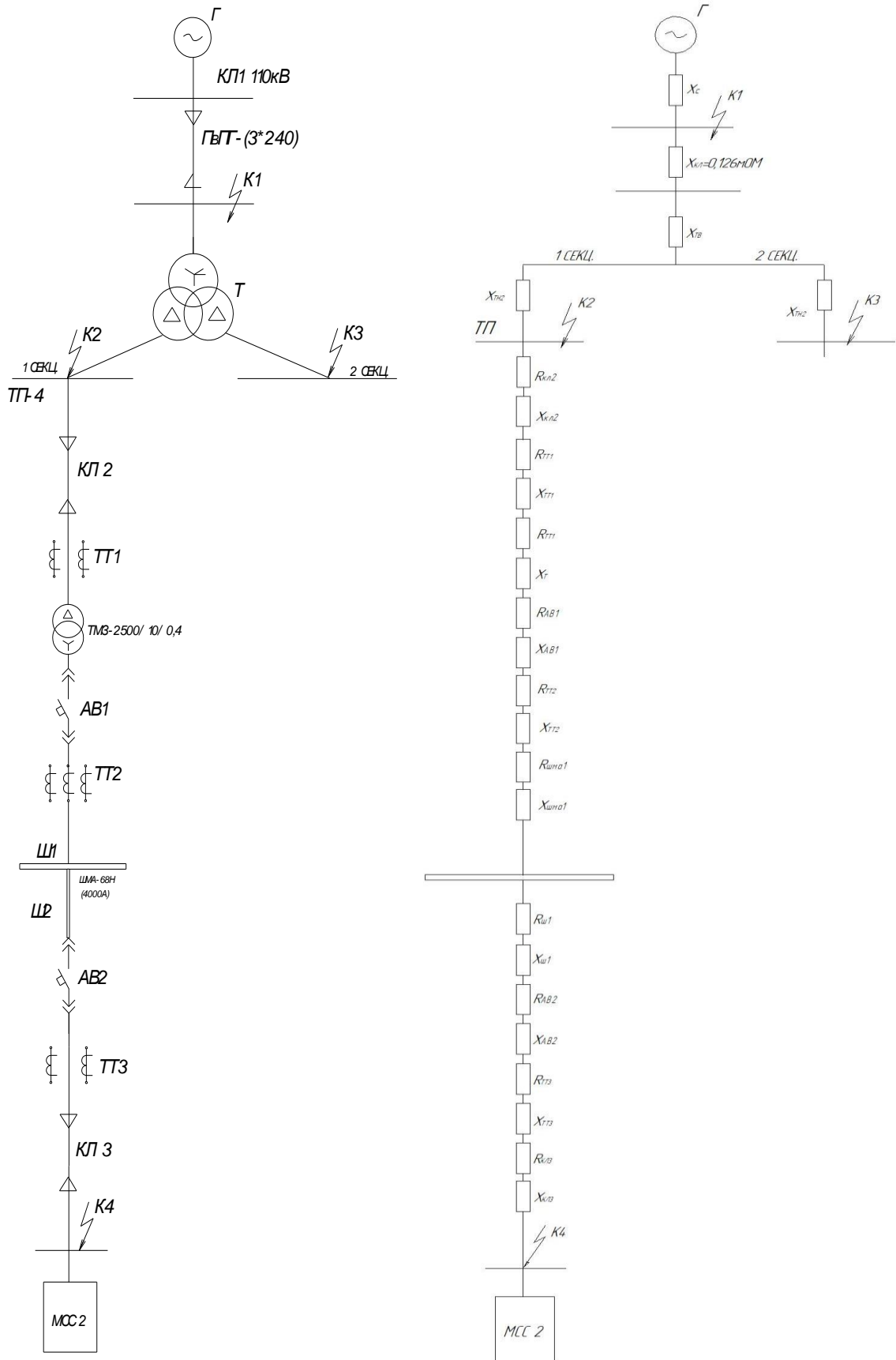


Рисунок 6.1 – Расчетная схема и схема замещения

6.1.1 Расчет сопротивления кабельных линий

Активное сопротивление проводника считаем по формуле:

$$R = R_0 \cdot l, \text{ мОм} \quad (6.1)$$

Индуктивное сопротивление проводника считаем по формуле:

$$X = X_0 \cdot l, \text{ мОм} \quad (6.2)$$

Полное сопротивление проводника считаем по формуле:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \text{ мОм} \quad (6.3)$$

Данные расчётов сведём таблицу 6.1

Таблица 6.1 – Расчет сопротивления проводников

Проводник	Марка	l, км	R ₀ , мОм/км	X ₀ , мОм/км	R, мОм	X, мОм	Z, мОм
КЛ ₁ 110 кВ	АПвП2Г	24	0,123	0,4	2,95	9,60	10,04
КЛ ₂ 10 кВ	АСБГ 3*185	0,9	0,165	0,074	0,15	0,07	0,16
КЛ ₃ 0,4 кВ	ВВГ-НГ	0,2	0,1	0,059	0,02	0,01	0,02
Шинопровод	ШМА 68Н-4000А	0,015	0,013	0,015	0,0002	0,0002	0,0003
Шина Ш2:	А60×8 - 1025А	0,003	0,074	0,163	0,0002	0,0005	0,0005

6.1.2 Расчет токов короткого замыкания в точке К₁

Расчет сопротивления системы выполним по формуле:

$$X_c = \frac{S_{\sigma}}{S_{кз}} \quad (6.4)$$

Расчет выполним в таблице 6.2

Таблица 6.2 - Расчет сопротивления системы 110 кВ

Класс напряжения	$U_{НОМ.},$ кВ	$U_{К},$ %	$S_{\delta},$ мВА	$S_{К},$ мВА	$S_{НОМ.},$ мВА	$X_{С},$ МОм
0,4 кВ	115	10,5	100	2100	40	0,048

Дальнейшие расчеты выполним в относительных единицах

Сопротивление кабельной линии 110 кВ:

$$x_{*КЛ1} = x_{КЛ1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_H^2} \quad (6.5)$$

$$x_{*КЛ1} = 10,04 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,076 \text{ О.е.}$$

Суммарное сопротивление в точке K_1

$$X_{\Sigma} = X_c + X_l \quad (6.6)$$

$$X_{\Sigma} = 0,048 + 0,076 = 0,124 \text{ О.е.}$$

$$I_c'' = \frac{E_c}{X_{\Sigma}} \quad (6.7)$$

$$I_c'' = \frac{1}{0,124} = 8,06 \text{ О.е.}$$

$$I_{кз}^{(3)} = I_c'' \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (6.8)$$

$$I_{кз}^{(3)} = 8,06 \cdot \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 4,05 \text{ кА}$$

Ударный ток:

$$i_{y\vartheta} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa 3}, \quad (6.9)$$

$$i_{y\vartheta} = \sqrt{2} \cdot 4,05 \cdot 1,8 = 10,3 \text{ кА}$$

$K_y = 1,8$ – значение ударного коэффициента [9,рис.4.6]

Ударный ток короткого замыкания:

$$I_{y \kappa 1} = I_{\kappa 3}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{y\vartheta} - 1)^2} \quad (6.10)$$

$$I_{y \kappa 1} = 4,05 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 6,12 \text{ кА.}$$

Мощность короткого замыкания K_1 :

$$S_{\kappa 1} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{\kappa 3} \quad (6.11)$$

$$S_{\kappa 1} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 4,05 = 805,8 \text{ МВА}$$

6.1.3 Расчет токов короткого замыкания в точке K_2 и K_3

Сопротивление силового трансформатора 110 кВ:

$$x_{*TB} = \frac{U_{\kappa\vartheta}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{mH}} \quad (6.12)$$

$$x_{*TB} = \frac{1,3125}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,03 \text{ О.е.}$$

$$x_{*TH} = \frac{U_{\kappa H}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{mH}} \quad (6.13)$$

$$x_{*TH} = \frac{18,375}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,46 \text{ О.е.}$$

$$U_{\kappa\vartheta} = U_{\kappa} \cdot 0,125 \quad (6.14)$$

$$U_{\kappa\vartheta} = 10,5 \cdot 0,125 = 1,31$$

$$U_{кн} = U_{к} \cdot 1,75 \quad (6.15)$$

$$U_{кн} = 10,5 \cdot 1,75 = 18,38$$

Суммарное сопротивление в точке К₁ и К₂:

$$x_{*\Sigma} = x_{*c} + x_{*л} + x_{*тв} + x_{*тнн} \quad (6.16)$$

$$x_{*\Sigma} = 0,0476 + 0,0234 + 0,03 + 0,46 = 0,56 \text{ О.е.}$$

$$I_c^{\wedge} = \frac{E_c}{X_{\Sigma}} \quad (6.17)$$

$$I_c^{\wedge} = \frac{1}{0,56} = 1,77 \text{ О.е.}$$

$$I_{кз}^{(3)} = I_c^{\wedge} \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{н}} \quad (6.18)$$

$$I_{кз}^{(3)} = 1,77 \cdot \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 9,74 \text{ кА}$$

Ударный ток:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз} \quad (6.19)$$

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 9,74 \cdot 1,92 = 26,5 \text{ кА}$$

$K_y=1.92$ – значение ударного коэффициента [9,рис.4.6].

Ударный ток короткого замыкания:

$$I_{y\text{кз}2.3} = I_{кз}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{y\delta} - 1)^2} \quad (6.20)$$

$$I_{y\text{кз}2.3} = 9,74 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,92 - 1)^2} = 15,98 \text{ кА}$$

Мощность короткого замыкания К₁ и К₂:

$$S_{k2,3} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{k3} \quad (6.21)$$

$$S_{k2,3} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 9,74 = 177,2 \text{ МВА}$$

На основании полученных данных составим таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Данные токов короткого замыкания в точках К₁, К₂, К₃

Точка К.З.	U _H , кВ	I ⁽³⁾ _к , кА	I _{у к} , кА	K _у	i _у , кА	S _к , МВА
К ₁	115	4,05	6,12	1,8	10,3	805,8
К ₂ , К ₃	10,5	9,74	15,98	1,92	26,5	177,2

6.1.4 Расчет токов короткого замыкания в точке К₄

Расчет токов короткого замыкания в точке К₄ выполним в именованных единицах.

Расчет сопротивления системы выполним по формуле:

$$X_c = \frac{U_{н.нн}^2}{S_k} \cdot 1000 \quad (6.22)$$

$$X_c = \frac{0,4^2}{177,2} \cdot 1000 = 0,9 \text{ МОм}$$

Расчет выполним в таблице 6.4

Таблица 6.4 - Расчет сопротивления системы

Класс напряжения	U _{НОМ} , кВ	S _к , МВА	X _с , МОм
0,4 кВ	0,4	177,2	0,9

Сопротивление силового трансформатора 10/04 кВ:

Данные силового трансформатора возьмём из таблицы 3.2

$$r_m = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_{HH}^2}{S_{HOM.}} \quad (6.23)$$

$$r_m = \frac{3,75 \cdot 0,4^2}{2500} = 0,24 \text{ мОм};$$

$$z_m = \frac{U_{\kappa} \cdot U_{HH}^2}{S_{HT}} \quad (6.24)$$

$$z_m = \frac{6 \cdot 0,4^2}{2500} \cdot 10^4 = 3,85 \text{ мОм}$$

$$x_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2} \quad (6.25)$$

$$x_m = \sqrt{3,85^2 - 0,24^2} = 3,84 \text{ мОм}$$

Данные для расчета суммарного сопротивления схемы замещения до точки K_4 сведём в таблицу 6.5

Таблица 6.5 – Данные сопротивления элементов схемы замещения

№ п/п	Элемент схемы замещения	R, мОм	X, мОм	Z, мОм
1	Трансформатор тока ТТ2	0,43	0,65	0,78
2	Автоматический выключатель АВ1	0,1	0,05	0,11
3	Автоматический выключатель АВ2	0,1	0,05	0,11
4	Трансформатор тока ТТ3	0,43	0,65	0,78

Суммарное активное сопротивление:

$$r_{\Sigma} = r_{КЛ2} + r_m + r_{AB1} + r_{ТТ2} + r_{ШМА1} + r_{Ш1} + r_{AB2} + r_{ТТ3} + r_{КЛ3} \quad (6.26)$$

$$r_{\Sigma} = 0,15 + 0,24 + 0,1 + 0,43 + 0,0002 + 0,0005 + 0,05 + 0,43 + 0,02 = 1,42 \text{ мОм.}$$

Суммарное индуктивное сопротивление:

$$x_{\Sigma} = x_C + x_{КЛ2} + x_m + x_{AB1} + x_{ТТ2} + x_{ШМА1} + x_{Ш1} + x_{AB2} + x_{ТТ3} + x_{КЛ3} \quad (6.27)$$

$$x_{\Sigma} = 0,9 + 0,07 + 3,84 + 0,05 + 0,65 + 0,0002 + 0,0005 + 0,05 + 0,65 + 0,01 = 6,2 \text{ мОм.}$$

Суммарное сопротивление в точке К₄:

$$Z_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} \quad (6.28)$$

$$Z_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{1,42^2 + 6,2^2} = 6,4 \text{ мОм}$$

Ток металлического трехфазного короткого замыкания считаем по формуле:

$$I_{км}^{(3)} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} \quad (6.29)$$

$$I_{км}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 6,4} = 36 \text{ кА}$$

Ток дугового трехфазного короткого замыкания считаем по формуле:

$$I_{кд}^{(3)} = I_{км}^{(3)} \cdot K_c \quad (6.30)$$

$$I_{кд}^{(3)} = 36 \cdot 0,91 = 32,76 \text{ кА при } t_{кз} \approx 0$$

$$I_{кд}^{(3)} = 36 \cdot 0,81 = 29,16 \text{ кА при } t_{кз} \geq 0,05 \text{ с}$$

$K_{c1} = 0,91$ – коэффициент начального момента КЗ;

$K_{c2} = 0,81$ – коэффициент установившегося момента КЗ.

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_{y2} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{км2}^{(3)}, \quad (6.31)$$

$$i_y = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 36 = 76,4 \text{ кА}$$

Определим ударный коэффициент по графику.

$$\frac{X_\Sigma}{R_\Sigma} = \frac{6,2}{1,42} \approx 4,4$$

$K_y = 1,5$ – ударный коэффициент.

Таблица 6.6 – Данные токов короткого замыкания в точках К₄

Точка КЗ	$U_{нв}$, кВ	$Z_\Sigma^{(3)}$, мОм	$I_{кв}$, кА	I_y , кА	K_y
К ₄	0,4	6,4	36,0	76,4	1,0

7 Расчет и выбор электрооборудования и проводников

7.1 Расчет кабельных линий 110 и 10 кВ

1. Кабельная линия 110 кВ

а) Расчетный ток нагрузки в нормальном режиме:

$$I_{\text{норм}} = \frac{1,4 \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (7.1)$$

$$I_{\text{норм}} = \frac{1,4 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 280,9 \text{ А}$$

б) Расчет экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.л}}}{j_{\text{эк}}} \quad (7.2)$$

Расчет сечения кабеля 110 кВ сведём в таблицу 8.1.

Таблица 7.1 – Параметры кабельной линии

Расчетные сечения, мм ²	Стандартные сечения, мм ²	Длительно допустимый ток, А
$F_{\text{э}l} = 280,9 \div 1,2 = 234,08$	240	532

Выбираем кабель ПвПГ 3(1×240).

Кабельные линии 10 кВ

Таблица 7.2 – Параметры кабельной линии

№ пп	Потребитель	Расч. ток, А	Расчетные сечения, мм ²	Кабель	Длительно допустимый ток, А
1	ТП №7	113,97	94,975	ЦААБВ (3*120)	185
2	ТП №1	182,45	152,04	ЦААБВ (3*185)	235
3	ТП №2	74,8	62,33	ЦААБВ (3*70)	130
4	ТП №3	189,33	157,77	ЦААБВ (3*185)	235
5	ТП №4	189,33	157,77	ЦААБВ (3*185)	235
6	ТП №6	113,97	94,97	ЦААБВ (3*120)	185
7	ТП №8	113,97	94,97	ЦААБВ (3*120)	185
8	СД 2000 кВт	154,2	128,45	ЦААБВ (3*185)	235

7.2 Выбор трансформатора тока на 110 кВ

Условия выбора трансформаторов тока 110 кВ:

1. Класс напряжения ($U_{ном.}$)

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (7.3)$$

$$U_{уст} = 110 \leq U_{ном} = 110 \text{ кВ}$$

2. Ток нагрузки в номинальном режиме ($I_{ном.}$)

$$I_{норм} \leq I_{ном} \quad (7.4)$$

$$I_{р.норм} = 280,9 \text{ А}$$

$$I_{ном} = 300 \text{ А}$$

$$I_{норм} = 290,9 \text{ А} \leq I_{ном} = 300 \text{ А}$$

3. Параметры электродинамической стойкости

$$I_{n.o} \leq I_{np.c} \quad i_{y\delta} \leq i_{np.c} \quad (7.5)$$

$$i_{y\delta} = 10,3 \text{ кА}$$

$$i_{np.c} = 25 \text{ кА}$$

$$i_{y\delta} = 10,3 \leq i_{np.c} = 25 \text{ кА}$$

4. Параметры термической стойкости:

$$B_{\kappa} \leq B_{ном} \quad (7.6)$$

$$B_{\kappa} = I_n^2 \cdot (t_{отк} + T_a) \quad (7.7)$$

$$B_{\kappa} = 7,058^2 \cdot (0,085 + 0,05) = 6,39 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$B_{ном} = I_{ном}^2 \cdot t_m \cdot K_m^2 \quad (7.8)$$

$$B_{ном} = 300^2 \cdot 25^2 \cdot 3 = 168,69 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

t_m – время термических воздействий

$$t_{отк} = 0,085 \text{ с}; T_a = 0,05 \text{ с.}$$

$$B_{\kappa} = 6,39 \leq B_{ном} = 168,69 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Таблица 7.3 – Сравнение вариантов выбора

№	Условия выбора	Расчет	Каталог
1	$U_{уст} \leq U_{ном}$	110 кВ	110 кВ
2	$I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$	280,9 А	300 А
3	$i_{уд} \leq i_{п.с}$	10,3 кА	25 кА
4	$B_{\kappa} \leq I_T^2 \cdot t_T = B_{\kappa.ном}$	6,39 кА ² ·с	168,69 кА ² ·с

4. Проверка параметров вторичной нагрузки

Данные измерительных приборов приведены в таблице 7.4

Таблица 7.4 – Данные измерительных приборов

Прибор	Тип	S прибора (В·А)
Амперметр, А	РА 195	0,09

Сопротивление прибора:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\Sigma \text{приб}}}{I_2^2} \quad (7.9)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{0,09}{5^2} = 0,0036 \text{ Ом},$$

I_2 – значение вторичного тока амперметра;

$S_{\Sigma \text{приб}}$ – потребляемая мощность приборов;

$r_2 = 1,3 \text{ Ом}$.

$$R_{\text{пров}} = r_2 - R_{\text{приб}} - R_k, \quad (7.10)$$

$$R_{\text{пров}} = 1,3 - 0,0036 - 0,09 = 1,2 \text{ Ом}$$

$R_k = 0.1$ – сопротивление контактных соединений;

$R_{\text{пр}}$ – сопротивление проводников;

$\rho = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ – удельное сопротивление для меди.

$1,2 \text{ мм}^2 \leq 2,5 \text{ мм}^2 \leq 4 \text{ мм}^2 \rightarrow$ Принимаем $S_{\text{пров}} = 2,5 \text{ мм}^2$

Выбираем трансформатор тока **ТВТ-110 –300/5**

7.3 Выбор ограничителей перенапряжения на классы напряжения 110 кВ и 10 кВ

Условия выбора ограничителей перенапряжения:

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (7.11)$$

$$U_{уст} = 110 \leq U_{ном} = 110 \text{ кВ}$$

$$U_{уст} = 10 \leq U_{ном} = 10 \text{ кВ}$$

Для установки на напряжение 110 кВ принимаем ОПНп-110/550/56 – УХЛ1;

Для установки на напряжение 10 кВ принимаем ОПНп -10/550/10,5-УХЛ1.

7.4 Выбор заземлителей

В сетях с глухозаземлённой нейтралью для соединения нейтрали трансформатора с заземляющим устройством применяется однополюсный заземлитель.

Условия выбора заземлителя:

1. Класс напряжения ($U_{ном.}$)

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (7.12)$$

$$U_{уст} = 110 \leq U_{ном} = 110 \text{ кВ}$$

3. Параметры электродинамической стойкости

$$I_{н.о} \leq I_{нр.с} \quad i_{уд} \leq i_{нр.с} \quad (7.13)$$

$$i_{уд} = 10,3 \leq i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$$

3. Параметры термической стойкости:

$$B_{к} \leq B_{ном} \quad (7.14)$$

$$B_{к} = 6,39 \leq B_{ном} = 576 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Для установки принимаем однополюсный заземлитель ЗОН-110М.

7.5 Выбор ячеек КРУ и выключателей на класс напряжения 10кВ

В распределительных устройствах 10 кВ принимаем для установки ячейки КРУ Самарского завода «Электроцит» КРУ-СЭЩ-63 с вакуумными выключателями ВВМ-СЭЩ – 10.

Номинальный длительный ток:

$$I_{ном.дл.} = \frac{1,4 \cdot 40000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 1539,2 \text{ А}$$

Технические характеристики КРУ-СЭЩ-63 с вакуумными выключателями ВВМ-СЭЩ – 10 и условия выбора сведём в таблицу 7.5.

Таблица 7.5 – Условия выбора ячеек КРУ с вакуумными выключателями ВВМ-СЭЩ – 10

№ п/п	Технические параметры	Условия выбора	Расчетные параметры	Параметры КРУ
1	Номинальное напряжение	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
2	Номинальный длительный ток	$I_{ном} \leq I_{ном}$	1539,2 А	1600 А
3	Отключающая способность	$i_{a.т} \leq i_{a.ном}$	9,74 кА	31,5 кА
4	Предельный сквозной ток КЗ	$i_{уд} \leq i_{пр.с}$	26,5	80 кА
5	Термическая стойкость	$B_k \leq B_{ном}$	576 кА ² с	1200 кА ² с

7.6 Выбор трансформаторов напряжения

Для выбора трансформаторов напряжения рассчитаем параметры вторичной нагрузки. Данные приборов сведены в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Данные вторичных приборов

Прибор	Тип	S прибора (В·А)
Вольтметр	ЭВ2259М	1·3,6
Ваттметр	СР3021	1·0,6
Варметр	СК3021	1·0.6
Счетчик активной энергии	ЦЭ6822 «Энергомера»	29·2,4
Счетчик реактивной энергии		29·2,4
		$S_{\Sigma пр} = 144 \text{ В·А}$

Условия выбора заземлителя:

1. Класс напряжения ($U_{ном.}$)

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (7.15)$$

$$U_{уст} = 10 \leq U_{ном} = 10 \text{ кВ}$$

2. Параметры вторичной нагрузки

$$S_{\Sigma пр} \leq S_{ном} \quad (7.16)$$

$$S_{\Sigma пр} = 144 \leq S_{ном} = 200 \text{ (В·А)}$$

Для установки принимаем антирезонансный трансформатор ЗНИОЛ – 10 классом точности 0,5.

8 Расчет параметров РЗ и А

Произведем расчет релейной защиты трансформатора ГПП с помощью дифференциальных токовых реле типа РСТ-15, рассчитанных на применение в сетях стандартной частоты.

Пик тока на высокой стороне трансформатора [20]:

$$I_{\text{БТН}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}, \quad (8.1)$$

При определении параметров РСТ-15 сначала определяются значения токов на высокой (ВН) и низкой (НН) сторонах трансформатора. Далее определяются с типом ТТ, номинальный первичный ток ТТ выбирается большим, чем номинальный на стороне ВН или НН, т. е.

$$I_{\text{ном1ВН}} > I_{\text{ном.ВН}}, \quad I_{\text{ном1НН}} > I_{\text{ном.НН}}, \quad (8.2)$$

но с таким расчетом, чтобы впоследствии рассчитанные токи в плечах защиты $I_{2\text{ВН}}$ и $I_{2\text{НН}}$ были не более 5 А.

Расчет производим по форме таблицы 7.1.

Расчетное число витков обмотки основной стороны $W_{\text{осн}}$:

$$W_{\text{осн.расч}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{I_{\text{с.р}}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{I_{2\text{ВН}}}, \quad (8.3)$$

Далее используем выражение:

$$I_{2\text{ВН}} W_{\text{осн}} = I_{2\text{НН}} (W_1 - W_{\text{доп}}), \quad (8.4)$$

Таблица 8.1 – Расчет на реле РСТ-15 – определение основных величин

Наименование величины	Формула	Сторона ВН	Сторона НН
1. Номинальный ток защиты трансформатора, А	$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}$	$I_{\text{ном.ВН}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}$	$I_{\text{ном.НН}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}$
2. Схема соединений обмоток защиты трансформатора	–	Y (Δ)	Δ (Y)
3. Схема соединений обмоток ТТ	–	Δ (Y)	Y (Δ)
4. Коэффициент схемы	$K_{\text{сх}}$	$K_{\text{схВН}} = \sqrt{3} (1)$	$K_{\text{схНН}} = 1 (\sqrt{3})$
5. Коэффициент трансформации ТТ	$K_{\text{НТТ}}$	$K_{\text{НТТ.ВН}} = \frac{I_{\text{ном1ВН}}}{5}$	$K_{\text{НТТ.НН}} = \frac{I_{\text{ном1НН}}}{5}$
6. Вторичный ток в плечах защиты, соответствующий номинальной мощности трансформатора	$I_{2\text{ВН}} = \frac{K_{\text{сх}}}{n_{\text{T}}} \times I_{\text{ном}}$	$I_{2\text{ВН}} = \frac{K_{\text{сх}}}{K_{\text{НТТ.ВН}}} \times I_{\text{ном.ВН}}$	$I_{2\text{ВН}} = \frac{K_{\text{сх}}}{K_{\text{НТТ.НН}}} \times I_{\text{ном.НН}}$

Ток срабатывания для установки на панели реле РСТ-15:

$$I_{\text{с.р}^*} = \frac{I_{\text{с.р}} W_{\text{осн}}}{100 K}, \quad (8.5)$$

Реле предназначено для защиты одной фазы.

Таким образом, следуя вышеприведенным рекомендациям, производим расчет защиты на реле РСТ-15.

Параметры защищаемого трансформатора:

$$S_{\text{ном}} = 40000 \text{ кВА}; U_{\text{ВН}} = 110 \text{ кВ}; U_{\text{НН}} = 10 \text{ кВ}.$$



Пик тока на высокой стороне трансформатора:

$$I_{\text{БТН}} = I_{\text{номТ1}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}}} = \frac{40000}{\sqrt{3} * 110} = 210,2 \text{ А}.$$

Пик тока на низкой стороне трансформатора:

$$I_{БТН} = I_{НОМТ1} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} * U_{НОМ}} = \frac{40000}{\sqrt{3} * 10} = 2312,2 \text{ А.}$$

Таблица 7.2 – Расчет дифференциальной токовой защиты

Наименование величины	Численное значение для стороны	
	110 кВ	10 кВ
Первичный номинальный ток трансформатора, А $I_n = S_n / (\sqrt{3} \cdot U_{н.ср.})$	210,2 А	2312,2 А
Коэф. трансф. тр-ра тока n_s	300/5	3000/5
Схемасоединения обмоток защищаемого трансформатора		Δ
Схема соединения тр-ра тока	Δ	
Вторичный ток в плечах защиты, А $I = (I_n \cdot K_{сх}) / n_T$	$210,2 * \sqrt{3} / (300/5) = 6,06 \text{ А}$	$2312,2 * 1 / (3000/5) = 3,85 \text{ А}$
Расчетное число витков обмотки $W_{осн.}$	$\omega = F_{ср} / I_{ср.}$ $F_{ср} = 50 \text{ А} - \text{МДС}$ срабатывания	$50 / 6,06 = 8,2$
Принятое число витков обмотки $W_{осн.} = W_1$	$\omega_{осн.}$	9
Расчетное число витков обмотки $W_{доп.}$	$I_{ср.вн} \cdot W_{осн.} = I_{ср.нн} \cdot (W_1 - W_{доп.})$	$3,85 \cdot 13 = 6,06 \cdot (13 - 5);$ $W_{доп.} = 5$ $50,05 \text{ А} \approx 48,48 \text{ А}$
Принятое число витков обмотки $W_{доп.}$	$\omega_{доп.}$	5

По формуле (7.5) при $K = 1$ определяем ток срабатывания для установки на панели реле РСТ-15:

$$I_{ср*} = 6,06 \cdot 8 / (100 \cdot 1) = 0,48.$$

Принимаем уставку, равную 0,5 относительных единиц.

9 Расчет заземления ГПП

В расчете защитного заземления ГПП необходимо определить следующие параметры:

1. Тип ЗУ и параметры заземлителей.
2. По ПУЭ установить значение сопротивления для ЗУ.
3. Рассчитать необходимое сопротивление заземляющего устройства с учетом естественных заземлителей.
4. Рассчитать общее сопротивление и величину потенциала ЗУ.

Толщина верхнего слоя грунта (гравия) $h_1 = 1,6$ м.

Сопротивление естественного заземлителя R_e определим по формуле

$$R_e = \sqrt{r_{\text{он}} \frac{r_T}{n_T}}, \quad (9.1)$$

где активное сопротивление троса:

$$r_T = 0,15 \frac{\ell}{s}, \quad (9.2)$$

Тогда сопротивление естественного заземлителя R_e :

$$R_e = \sqrt{r_{\text{он}} \frac{0,15 \cdot \ell}{s \cdot n_T}} = \sqrt{10 \cdot \frac{0,15 \cdot 160}{110 \cdot 1}} = 1,48 \text{ Ом}. \quad (9.3)$$

Требуемое сопротивление искусственного заземлителя $R_{\text{И}}$ определяется формулой:

$$R_{\text{И}} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3} = \frac{1,48 \cdot 0,5}{1,48 - 0,5} = 0,76 \text{ Ом}. \quad (9.4)$$

Составляем схему заземлителя согласно ПУЭ [16] (рисунок 9.1), основные параметры которой будут такими: $L_r = 700$ м; $n = 66$ шт.

Расчет проведем в соответствии с указаниями [25].

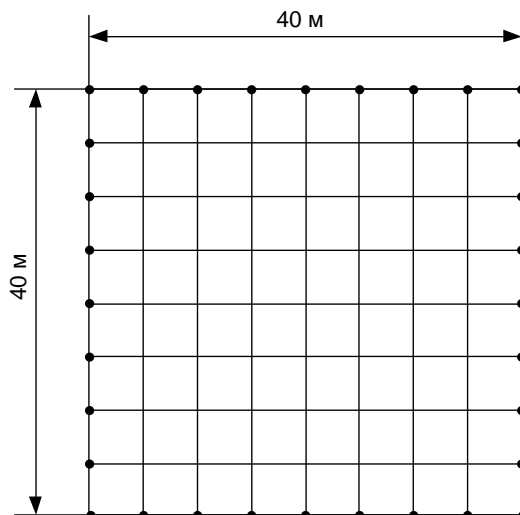


Рисунок 9.1 – План заземления подстанции

Модель заземлителя, которая будет такая же, как предварительно принятая, в виде квадратной фигуры.

Количество ячеек:

$$m = \frac{L_r}{2\sqrt{S}} - 1 = \frac{700}{2 \cdot 40} - 1 = 7,75 \approx 8 \quad (9.5)$$

Длина горизонтально проложенных стержней:

$$L_r = 2(m+1)\sqrt{S} = 2(8+1) \cdot 40 = 640 \text{ м.} \quad (9.6)$$

Другие параметры ячеек:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m} = \frac{40}{8} = 5 \text{ м.} \quad (9.7)$$

$$a = 4 \frac{\sqrt{S}}{n} = 4 \cdot \frac{40}{66} = 2.42 \approx 2,5 \text{ м.} \quad (9.8)$$

Длина вертикально проложенных (вкопанных в землю) стержней:

$$L_B = n \cdot \ell_B = 66 \cdot 5 = 330 \text{ м.} \quad (9.9)$$

Относительная глубина и длина для вкопанных в землю стержней:

$$t_{OT} = \frac{\ell_B + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,7}{40} = 0,1425. \quad (9.10)$$

$$\ell_{OT} = \frac{h_1 - t}{\ell_B} = \frac{1,5 - 0,1425}{5,0} = 0,2715. \quad (9.11)$$

Находим значение отношения ρ_1/ρ_2 (для двухслойного грунта: гравий глинистый неоднородный и суглинок):

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{450}{50} = 9.$$

Находим число k при $1 < \rho_1/\rho_2 < 10$ по формуле [9, 25]:

$$k = 0,32 \left(1 + 0,26 \cdot \ln \frac{h_1}{\ell_B} \right) = 0,32 \left(1 + 0,26 \cdot \ln \frac{1,5}{5} \right) = 0,22. \quad (9.12)$$

Расчетное эквивалентное удельное сопротивление грунта ρ_3 :

$$\rho_3 = \rho_2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^k = 50 \cdot \left(\frac{450}{50} \right)^{0,22} = 50 \cdot P; \quad (9.13)$$

$$\ln P = 0,22 \cdot \ln 9 = 0,483; \quad P = 1,6.$$

$$\rho_3 = 50 \cdot 1,6 = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Вычислим расчетное сопротивление (A при $t_{от} < 0,1$):

$$A = 0,0425 + 0,34 \cdot 0,264 = 0,13$$

$$R = A \cdot \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_r + L_b} = 0,13 \cdot \frac{80}{40} + \frac{80}{720 + 320} = 0,337 \text{ Ом}. \quad (9.14)$$

Это значение R соответствует ПУЭ, т.к.

$$R_{и} = \frac{R_e \cdot R_{и}}{R_e + R_{и}} = \frac{2,55 \cdot 0,337}{2,55 + 0,337} = 0,3 \text{ Ом}. \quad (9.15)$$

10 Расчет молниезащиты ГПП

Зона защиты молниеотвода определяется параметрами высоты стержня. И представляет собой конус высотой h_0-h (рисунок 9.1).

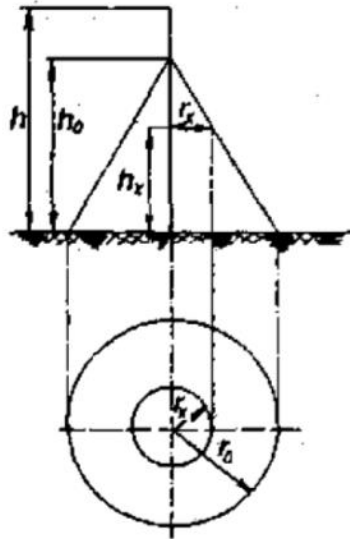


Рисунок 9.1 – Зоной защиты ОРУ

Принимаем длину объекта: $L_0 = 40$ м.

Ширина распреедустройства исходя из плана (см. графическую часть, лист 2): $B = 40$ м.

Основные параметры зоны защиты ОРУ при надежности защиты 0,999 [25] определяются формулами [2, 5]:

$$h_0 = 0,7 \cdot h; \quad (10.1)$$

$$r_0 = 0,6 \cdot h. \quad (10.2)$$

– радиус зоны защиты r_x на высоте защищаемого объекта h_x :

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}, \quad (10.3)$$

Выбираем места установки молниеотводов на порталах. При этом используется 4 молниеотвода, которые попарно образуют зоны защиты двойного стержневого молниеотвода. Эти молниеотводы устанавливаются в крайних внешних четырех точках порталов (практически по вершинам прямоугольной фигуры плана ГПП).

По формулам (9.1) – (9.3) находим:

$$h_0 = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 19 = 13,3 \text{ м.}$$

$$r_0 = 0,6 \cdot h = 0,6 \cdot 19 = 11,4 \text{ м.}$$

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{11,4 \cdot (19 - 11)}{19} = 4,8 \text{ м.}$$

Молниеотвод считается двойным (рисунок 9.2), если расстояние при надежности защиты 0,999 предельная величина расстояния между стержневыми молниеотводами:

$$L_{\max} = 4,25 \cdot h = 4,25 \cdot 19 = 80,75 \text{ м.}$$

Это соответствует габаритам ГПП и молниеотвод можно считать двойным. Т.е. устанавливаем молниеприемники на крайних порталах.

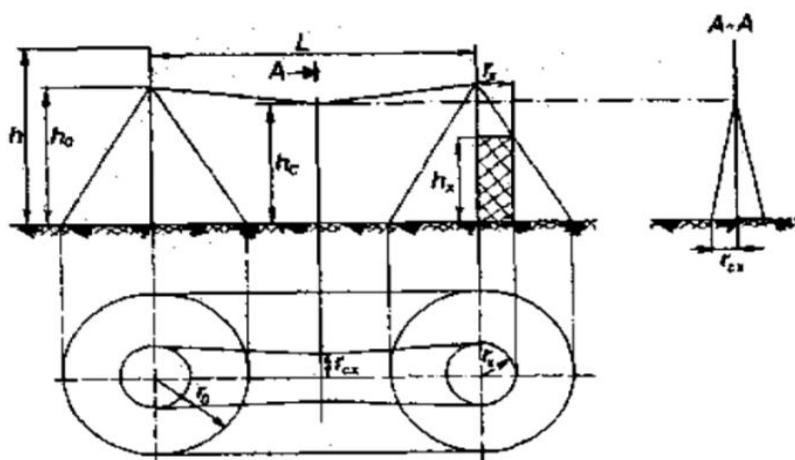


Рисунок 9.2 – Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

При расстоянии L меньше определенного значения L_c граница зоны защиты не имеет провеса, т.е. $h_c = h_0$.

$$L_c = 2,25 \cdot h = 2,25 \cdot 19 = 42,75 \text{ м.}$$

Для того, чтобы зона защиты не имела провала, необходимо выполнение условия:

$$L = 40 \text{ м} \leq L_c = 42,75 \text{ м.}$$

Т.к. условие выполняется, то граница зоны защиты не имеет провеса, т.е. $h_c = h_0 = 13,3 \text{ м}$.

Половина ширины горизонтального сечения в центре расстояния между молниеотводами (рис. 7) на высоте $h_x < h_c$ определяется по формуле:

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c}, \quad (10.4)$$
$$r_{cx} = \frac{11,4 \cdot (13,3 - 11)}{13,3} = 2 \text{ м.}$$

Таким образом, условие выполняется. Т.к. в зону защиты вписываются все виды оборудования ГПП, то их дополнительно молниеотводами на прожекторных мачтах или отдельно стоящими защищать нет необходимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе описано электроснабжение агрегата по производству аммиака ПАО «Тольяттиазот». Расчет начинается с определения электрических нагрузок. Выполнен график нагрузок.

На основании полученных результатов был произведён расчет трансформаторов ГПП. Выбор трансформаторов производился на основании результатов технико экономического расчета.

Далее в работе был произведён расчет токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов на классы напряжения 110 и 10 кВ.

Выполнен расчет параметров релейной защиты и автоматики.

В объём выпускной квалификационной работы также вошли расчеты защитного заземления и молниезащиты ГПП 110/10 кВ

Произведено проектирование схемы внешнего питания с учетом величины наиболее целесообразного напряжения завода ПАО «Тольяттиазот». Произведен расчет электрооборудования и проводников внутреннего и внешнего электроснабжения с указанием выбранных параметров и обоснованием выбора. Проведен выбор электрооборудования до 1000 В и выше 1000 В.

По расчетной схеме для расчета токов короткого замыкания составлена схема замещения и рассчитаны необходимые параметры КЗ.

Осуществлен расчет дифференциальной защиты ГПП. Для защиты ГПП также рассчитано заземление и молниезащита.

Расчеты были выполнены в соответствии с методиками, отвечают требованиям нормативной документации.

Работу можно считать полностью законченной, так как в ней присутствуют все необходимые расчеты для системы электроснабжения агрегата по производству аммиака ПАО «Тольяттиазот».

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Электронный ресурс] : учебник / Т. В. Анчарова [и др.] - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2018. - 414 с. : ил. - (Высшее образование. Бакалавриат). - ISBN 978-5-00091-500-4 <https://new.znaniium.com/catalog/document?id=345168>

2. Афонин В. В. Электрические станции и подстанции [Электронный ресурс]: учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 1 / В. В. Афонин, К. А. Набатов ; Тамбовский гос. техн. ун-т. - Тамбов : ТГТУ : ЭБС АСВ, 2015. - 90 с. : ил. - ISBN 978-5-8265-1387-3. <http://www.iprbookshop.ru/64621.html>

3. Богданов, А. В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Богданов, А. В. Бондарев. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 82 с.- 8-987-903550-43-2. <http://www.iprbookshop.ru/69913.html>

4. Вахнина, В. В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина [и др.]; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2016. - 78 с. : ил. - Библиогр.: с. 76-78. - ISBN 978-5-8259-0929-5. <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>

5. Вахнина, В. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина [и др.] ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - Тольятти : ТГУ, 2015. - 46 с. : ил. - Библиогр.: с. 35. - Прил.: с. 36-46. - ISBN 978-5-8259-0915-8. <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>

6. Вахнина, В. В. Электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы: учебно-методическое пособие для студентов направления 13.03.02 / В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2019. – 35 с.

7. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / В.В. Вахнина. – 2-е изд., стер. – Тольятти : ТГУ, 2011. – 68 с.

8. Кокин С.Е. Схемы электрических соединений подстанций: Учебное пособие / Кокин С.Е., Дмитриев С.А., Хальясмаа А.И., - 2-е изд., стер. - М.:Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 100 с. ISBN 978-5-9765-3134-5. <https://new.znaniium.com/catalog/document?id=303848>

9. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учебник / Е.А. Конюхова. — Электрон. дан. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2014. — 510 с. <https://e.lanbook.com/book/72338>

10. Кулеева Л.И. Проектирование подстанции [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 111 с. ISBN 978-5-7410-1542-1. <http://www.iprbookshop.ru/69935.html>

11. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.

12. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - М: "Инфра-Инженерия", 2018. - 148 с.- ISBN 978-5-9729-0207-1. <https://new.znaniium.com/catalog/document?id=326355>

13. НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. М.: АО ОТ ОТК ЗВНИ ПКИ Тяжпромэлектропроект, 1994 (1-я редакция).– 78 с.

14. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. Н. Ополева. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2018. - 416 с. - ISBN 978-5-8199-0769-6. <https://new.znaniium.com/catalog/document?id=345761>

15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: ИНФРА-М, 2018. - 262 с. ISBN 978-5-16-009744-2 <https://new.znaniium.com/catalog/document?id=304269>

16. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. - 7-е изд. - Электрон. текстовые данные. - М.: ЭНАС, 2013. - 104 с. ISBN 978-5-4248-0036-8. <http://www.iprbookshop.ru/76191.html>

17. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; дата введ. 23.03.1998. – М.: Издательство МЭИ, 2013. – 131 с.

18. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2007. – 27 с.

19. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 - 750 кВ [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые данные. - М. : ЭНАС, 2017. - 80 с. ISBN 978-5-4248-0135-8. <http://www.iprbookshop.ru/76194.html>

20. Релейная защита и автоматика в электрических сетях [Электронный ресурс] / ред. В. В. Дрозд. - Электрон. текстовые данные. - М. : Издательский дом ЭНЕРГИЯ, Альвис, 2012. - 632 с. - 978-5-904098-21-6. <http://www.iprbookshop.ru/22702.html>

21. Релейная защита электроэнергетических систем / Андреев М.В., Рубан Н.Ю., Суворов А.А., Гусев А.С., Сулайманов А.О. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. - 167 с. - ISBN 978-5-4387-0796-7. <https://new.znaniium.com/catalog/document?id=344694>

22. Русина, А. Г. Режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: учебник / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. - Электрон. текстовые данные. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. - 400 с. -. - ISBN 978-5-7782-2463-6. <http://www.iprbookshop.ru/45157.html>

23. Соловьев, А. Л. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Л. Соловьев, М. А. Шабад

; под ред. А. В. Беляев. - Электрон. текстовые данные. - СПб. : Политехника, 2016. - 176 с. - 978-5-7325-1100-0. <http://www.iprbookshop.ru/59516.html>

24. Хромченко, Г. Е. Проектирование кабельных сетей и проводок / Г. Е. Хромченко, П.И.Анастасиев, Е.З.Бранзбург, А.В.Коляда. - М.: Энергия, 2010.–397 с.

25. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2010. – 214 с.

26. Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. А. Ершов, О. П. Халезина, А. В. Малеев и др. - Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2012. - 68 с. - ISBN 978-5-7638-2555-8. <https://new.znaniium.com/catalog/document?id=163547>

27. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 12-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2012. – 966 с.

28. Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 11-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2014. – 704 с.

29. Электротехнический справочник: в 3-х т. Т. 2. Электротехнические устройства/Под. общ. ред. Проф. МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского, Л. А. Жукова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат, 2011. – 658 с.

30. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 2. Электротехнические устройства и изделия / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 10-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2012. – 988 с.