

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 азотно-кислородной станции и газового корпуса
электростанции

Обучающийся

С. А. Рындин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

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

Тольятти 2022

Аннотация

Выпускная квалификационная работа включает в себя 53 листа текста, включая 2 рисунка, 17 таблиц и графической части на 6 листах формата А1, списка используемой литературы из 25 наименований.

В квалификационной работе уделено внимание:

- сбору данных о характеристиках электроприёмников,
- расчету мощностей потребителей,
- расчёту нагрузки трансформаторных подстанций,
- определению центра электрических нагрузок,
- расчету электрооборудования 6 кВ и 0,4 кВ,
- управления электродвигателем релейной схемы,
- расчету защиты электродвигателя 6 кВ от перегрузки,
- расчёту осветительной нагрузки в производственных помещениях,
- расчетам контура заземления трансформаторной подстанции.

Содержание

Введение.....	4
1 Сведения об электрических нагрузках объектов.....	5
2 Расчет электрических нагрузок.....	7
2.1 Расчет электрических нагрузок ОГК	7
2.2 Расчет электрических нагрузок всех объектов.....	11
3 Выбор числа и мощности цеховых подстанций.....	14
3.1 Расчет уровней системы электроснабжения.....	16
4 Построение картограммы. Определение центра электрических нагрузок.....	21
5 Расчет внешнего электроснабжения.....	24
5.1 Выбор схемы электроснабжения.....	24
5.2 Расчет токов короткого замыкания.....	25
5.3 Выбор высоковольтных выключателей.....	28
5.4 Выбор кабельных линий.....	30
6 Расчет внутреннего электроснабжения ОГК и АКС.....	34
6.1 Выбор кабельных линии для двигателей и трансформаторов.....	34
6.2 Расчет распределительной сети ОГК и АКС напряжение 0,4 кВ...	34
7 Расчет релейной защиты двигателей.....	38
7.1 Управление пуском высоковольтного двигателя.....	38
7.2 Защита электродвигателей от перегрузки.....	39
8 Выбор освещения помещений.....	42
9 Расчет защитного заземления трансформаторной подстанции.....	45
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	51

Введение

Наиболее важным аспектом в эксплуатации ЭС, является безопасная эксплуатация.

Актуальность выпускной квалификационной работы заключается в том, что безаварийная работа электростанции достигается надежной работой вспомогательного оборудования.

Наивысшим приоритетом для эксплуатации электростанции является отсутствием отклонений от нормальной работы. Режим нормальной работы невозможен, если не уделять должного внимания вспомогательному оборудованию.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения азотно-кислородной станции и газового корпуса.

«Для правильного решения всех задач проектирования систем электроснабжения необходимо строго соблюдать:

- требования к системе электроснабжения;
- экономичность;
- надежность;
- безопасность;
- условия ее функционирования;
- технико-технологические условия;
- режимы работ» [12];
- выбор схемы электроснабжения и электрооборудования с наиболее надежной и безаварийной работы.

Результаты проведенной работы - разработана система электроснабжения общестанционных объектов электростанции (объединенный газовый корпус и азотно-кислородная станция).

1 Сведения об электрических нагрузках объектов

К основным объектам проектируемой системе электроснабжения относятся:

- азотно-кислородная станция (АКС),
- объединённый газовый корпус (ОГК),
- отделение химической водной очистки (ХВО),
- станция зарядки огнетушителей,
- отделение металlosклада.

Это потребители напряжения 6 кВ частотой 50 Гц.

Азотно-кислородная станция, путём разделения воздуха вырабатывает азот и кислород.

Кислород подаётся в системы сжигания водорода, а также для проведения планово-ремонтных работ на энергоблоках ЭС и общестанционных объектов.

«Объединённый газовый корпус, вырабатывает водород, который используется для охлаждения генераторов, расходуется на заполнение генераторов, на их подпитку и продувку» [2].

Основные сведения о нагрузках объектов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные сведения о нагрузках объектов

Наименование объектов	Установленная мощность Руст.
Отделение химической водной очистки ХВО	4968,7кВт
Объединённый газовый корпус	1383кВт
Азотно-кислородная станция	1686кВт
Станция зарядки огнетушителей	140кВт
Отделение металlosклада	30кВт

Характеристика среды в помещениях и зданиях, а также категории надежности представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика внешней среды и категория надежности

Наименование объектов	Характеристика среды	Категория по бесперебойности электроснабжения производства
Отделение химической водной очистки	агрессивная	II
Объединённый газовый корпус	взрывоопасная	II
Азотно-кислородная станция	взрывоопасная	II
Станция зарядки огнетушителей	агрессивная	III
Отделение металlosклада	нормальная	III

Основные сведения о нагрузках приемников объекта представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Основные сведения о нагрузках приемников ОГК

Название электроприемников	Кол-во ЭП	Номинальная мощность электроприемников	
		Р _н , одного ЭП	Р _н , общая
Универсальный токарный станок	1	37,7кВт	37,7кВт
Заточный станок	1	1,1кВт	1,1кВт
Сверлильный станок	1	1,1кВт	1,1кВт
Грузоподъемный механизм (мостовой кран)	4	4-16кВт	29кВт
Пост сварки	1	33,5кВт	33,5кВт
Общестроительный пункт	2	10кВт	2 кВт
Компрессор газовый	16	160кВт	2560кВт
Газодувка высокого давления	2	5,5кВт	11кВт
Агрегат для перекачки сжиженных газов	2	3кВт	6кВт
Агрегат охлаждения	2	3кВт	6кВт
Электроподогреватель Е-312	2	22кВт	44кВт
Маслонасос	1	5кВт	5кВт
Вытяжная вентиляция	8	2,2-3кВт	22,4кВт
Электролизер г. корпус	2	88кВт	176кВт

Вывод: Определены характеристики среды помещений объектов, категории надежности потребителей и нагрузки электроприемников ОГК.

2 Расчет электрических нагрузок

2.1 Расчет электрических нагрузок объединено-газового корпуса

Расчет выполняем с использованием существующей статистики по индивидуальным коэффициентам использования (k_u) и коэффициентам расчетной мощности ($\cos\varphi$) [24].

Проводим анализ электрических нагрузок, в результате которого выделяются группы приемников группа А ($K_{и} < 0,6$) и группа Б ($K_{и} \geq 0,6$)

Определяем средние активные и реактивные мощности групп приемников по выражениям:

$$P_{см} = K_{иa} \cdot P_{н}, \quad (1)$$

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

«где $P_{н}$ - суммарная установленная мощность характерной группы приемников, приведенная к ПВ = 100%;

$K_{иa}$ – групповой коэффициент использования активной мощности за наиболее загруженную смену (принимается по справочным данным);

$\operatorname{tg}\varphi$ – определяется по средневзвешенному значению $\cos\varphi$ для характерной группы приемников (принимается по справочным данным)» [10, с. 54].

Для электроприемников повторно-кратковременного режима паспортная мощность приводится к номинальной:

$$P_{н} = P_{ПАСП} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{ПАСП}\%}{100\%}} \quad (3)$$

Определяем m , равное отношению мощностей приемников с максимальной мощностью $P_{нmax}$ и минимальной мощностью $P_{нmin}$ в группе А:

$$m = \frac{P_{нmax}}{P_{нmin}} = \frac{37,7}{1,1} = 34,3 \quad (4)$$

Все результаты вычислений сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Средние нагрузки приемников ОГК

Название электроприёмников (ЭП)	Кол-во ЭП	Номинальная мощность эн		Ки	$\frac{\cos\varphi}{\text{tg}\varphi}$	Pсм, кВт	Qсм, квар
		Pн, одного	Pн, общая				
Группа А							
Универсальный токарный станок	1	37,7 кВт	37,7 кВт	0,14	0,5/1,73	5,3	9,17
Заточный станок	1	1,1 кВт	1,1 кВт	0,14	0,5/1,73	0,154	0,27
Сверлильный станок	1	1,1 кВт	1,1 кВт	0,14	0,5/1,73	0,154	0,27
Грузоподъемный механизм (мостовой кран)	4	4-16 кВт	29 кВт	0,1	0,5/1,73	2,9	5,02
Пост сварки	1	33,5 кВт	33,5кВт	0,2	0,4/2,29	6,7	15,34
Общестроительный пункт	2	10 кВт	20 кВт	0,65	0,5/1,73	13	22,5
Итого по группе А	10	-	122,4 кВт	0,2	-	28,2	52,6
Группа Б							
Компрессор газовый	16	160 кВт	2560кВт	0,75	0,0/0,75	1875	1406
Газодувка высокого давления	2	5,5 кВт	11кВт	0,57	0,85/0,62	6,27	3,9
Агрегат для перекачки сжиженных газов	2	3 кВт	6кВт	0,8	0,0/0,75	4,8	3,6
Агрегат охлаждения	2	3 кВт	6кВт	0,75	0,8/0,75	4,5	3,4
Электроподогреватель Е-312	2	22 кВт	44кВт	0,6	0,95/0,33	26,4	8,7
Маслонасос	1	5 кВт	5 кВт	0,8	0,8/0,75	4	3
Вытяжная вентиляция	8	2,2-3 кВт	22,4кВт	0,65	0,8/0,75	14,6	10,95
Электролизер г. корпус	2	88 кВт	176кВт	0,8	0,95/0,33	140,8	46,5
Итого по группе Б	39	2,2-160 кВт	2770,4 кВт	-	-	2076,4	1486
Осветительная нагрузка по цеху	-	-	27кВт	0,85	-	-	-

Определим коэффициент использования для группы А:

$$K_{иА} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{н}} = \frac{28,2}{122,4} = 0,2 \quad (5)$$

Определим эффективное число приемников группы А по формуле:

$$n_{э} = \frac{2 \sum P_{нА}}{P_{max}} = \frac{2 \cdot 122,4}{37,7} = 6,5 \approx 7 . \quad (6)$$

По кривым $K_m = f(n_{э})$ находим коэффициент максимума $K_m = 2,1$.

Расчетные нагрузки группы А определяем по формулам:

$$P_{рА} = K_{ма} \cdot \sum P_{см, А} , \quad (7)$$

$$Q_{рА} = \sum Q_{см, А} , \quad \text{так как } n_{э} > 10 . \quad (8)$$

$$P_{рА} = 28,1 \cdot 2,1 = 59,22 \text{ кВт}, \quad Q_{рА} = 52,6 \text{ кВт}.$$

Расчетные нагрузки приемников группы Б определяются из выражений:

$$P_{рБ} = \sum P_{смБ} , \quad (9)$$

$$Q_{рБ} = \sum Q_{смБ} . \quad (10)$$

$$P_{рБ} = 2076,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{рБ} = 1486,9 \text{ квар}.$$

Силую нагрузку группы А и группы Б находим по формулам:

$$P_p = \sum P_{смА} + \sum P_{смБ} , \quad (11)$$

$$Q_p = \Sigma Q_{сМА} + \Sigma Q_{сМБ} \cdot \quad (12)$$

$$P_p = 59,6 + 2076,4 = 2158,6 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 52,6 + 1486,9 = 1538,7 \text{ кВА.}$$

Полная мощность без учета компенсации реактивной мощности равны:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \cdot \quad (13)$$

$$S_p = \sqrt{2158,6^2 + 1538,7^2} = 2651 \text{ кВА.}$$

Все результаты расчетов сведем в таблицу 5.

Таблица 5 - Расчетные нагрузки ОГК

Итого	n_3	K_M	$m = P_{max}/P_{min}$	P_p	Q_p	$S_p, \text{кВА}$
Приемники группы А						
Итого по гр. А	7	2,1	34,3	59,6кВт	52,6кВар	-
Приемники группы Б						
Итого по гр. Б	-	-	-	2076,4кВт	1486,9кВар	-
Итого по цеху	-	-	-	2158,6кВт	1538,7кВар	2651кВА

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха до 1000В определяется «по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{po} = K_{co} \cdot P_{но}, \quad (14)$$

где K_{co} – коэффициент спроса освещения;

$P_{но}$ – установленная мощность электрического освещения, кВт» [10, с. 63].

Величина $P_{но}$ находится по «формуле:

$$P_{но} = P_{удо} \cdot F, \quad (15)$$

где $P_{удо}$ – удельная мощность освещения, Вт/м² [10, с. 65];

F – площадь пола цеха, определяемая по генплану, м².

$$F_{огк} = 1944 \text{ м}, \quad F_{акс} = 648 \text{ м}, \quad P_{удо} = 10,4 \text{ Вт/м}^2.$$

$$P_{но\ огк} = 10,4 \cdot 1944 = 20217,4 \text{ Вт.}$$

$$P_{но\ акс} = 10,4 \cdot 648 = 6739,2 \text{ Вт.}$$

$$K_{со} = 0,85.$$

$$P_{о\ огк} = 0,85 \cdot 20217,4 = 17184,964 \text{ Вт.}$$

$$P_{о\ акс} = 0,85 \cdot 6739,2 = 5728,32 \text{ Вт.}$$

2.2 Расчет электрических нагрузок всех объектов

«Расчетная активная (P_p) и реактивная (Q_p) нагрузка объектов определяется по формулам [1]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (16)$$

где P_n – установленная мощность всех приемников цеха, установки, кВт;

K_c – средний коэффициент спроса» [10, с. 67].

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi, \quad (17)$$

«где $\text{tg}\varphi$ – средневзвешенное значение коэффициента мощности, характерное для приемников данного цеха, установки» [10, с. 67].

Результаты вычислений представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Силовые нагрузки объектов

Наименование	Силовая нагрузка					
	P_n	K_c	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p	Q_p
Потребители электрической энергии до 1000 В						
Объединено-вспомогательный корпус	4968,8кВт	0,75	0,8	0,75	3949,6кВт	2704,9кВар
Газовый корпус	1286кВт	0,7	0,8	0,75	900,2кВт	675,15кВар
Азотно-кислородная станция	1821кВт	0,7	0,8	0,75	1274,7кВт	956,03кВар
Станция зарядки огнетушителей	150кВт	0,7	0,8	0,75	105 кВт	78,75кВар
Металлосклад	40 кВт	0,1	0,5	1,73	4 кВт	6,92кВар
Потребители электрической энергии выше 1000 В						
Газовый корпус	2000кВт	0,75	0,8	0,75	1500кВт	1125кВар
Азотно-кислородная станция	2000кВт	0,75	0,8	0,75	1500кВт	1125кВар

Осветительные нагрузки объектов рассчитывается по формулам (14) - (15) [3]. Результаты вычислений представлены в таблице 7.

Таблица 7- Осветительные нагрузки объектов

Наименование	Осветительная нагрузка				
	F	$P_{уд}$	$P_{но}$	$K_{со}$	$P_{ро}$
объединено-вспомогательный корпус	14950м ²	17,5Вт/м ²	261,4 кВт	0,85	222,4кВт
газовый корпус	1944м ²	10,4Вт/м ²	20,2кВт	0,85	17,2кВт
азотно-кислородная станция	648м ²	10,4Вт/м ²	6,6кВт	0,85	5,6кВт
станция зарядки огнетушителей	432м ²	10,4Вт/м ²	4,4кВт	0,85	3,7кВт
металлосклад	972м ²	-	-	0,85	-

Полная мощность силовых и осветительных определяется по соотношению:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{po})^2 + Q_p^2}. \quad (18)$$

Результаты вычислений полной мощности объектов представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Полная расчетная мощность объектов

Наименование	Силовая нагрузка	Осветительная нагрузка	Суммарная расчетная нагрузка		
	P_p	P_{po}	P_p+P_{po}	Q_p	$S_p, \text{кВА}$
Объединенно-вспомогательный кор.	3949,6 кВт	222,4кВт	4162кВт	2704,9кВар	4838кВА
Газовый корпус	900,2кВт	17,2кВт	917,4кВт	675,15кВар	1139кВА
Азотно-кислородная станция	1274,7 кВт	5,6кВт	1280,3кВт	956,03кВар	1598 кВА
Станция зарядки огнетушителей	105 кВт	3,7кВт	108кВт	78,75кВар	134,3 кВА
Металлосклад	4 кВт	-	4 кВт	6,92кВар	8кВА
Итого по 0,38кВ	6223,5 кВт	248,9 кВт	6472,4 кВт	4430,8 кВар	7717 кВА
Газовый корпус	1500кВт	-	1500кВт	1125 кВар	1875 кВА
Азотно-кислородная станция	1500кВт	-	1500кВт	1125кВар	1875 кВА
Итого по 6 кВ	3000 кВт	-	3000 кВт	2250 кВар	3750 кВА
Всего	9223,5 кВт	-	9472 кВт	6680,75 кВар	11467,3 кВА

Вывод: Расчет средних силовых электрических нагрузок приемников ОГК проводился по индивидуальным коэффициентам использования. Расчет силовой нагрузки ОГК проводился по методу упорядоченных диаграмм.

Силовая нагрузка всех объектов проводилась по номинальной мощности и коэффициента спроса потребителей.

Осветительная нагрузка потребителей определяется по осветительному коэффициенту спроса, удельной мощности освещения и площади потребителя.

Расчет полной нагрузки потребителей проводился с учетом силовой и осветительной нагрузки.

3 Выбор числа и мощности цеховых подстанций

«Основная доля электроприемников завода относятся к потребителям II категории по бесперебойности электроснабжения. Поэтому, все схемы внешнего и внутреннего электроснабжения выбирают по полной расчетной нагрузке потребителей [4,5].

Для потребителей II категории предусмотрим цеховые ТП с двумя рабочими трансформаторами, предусматривается отдельная работа трансформаторов с автоматическим включением резерва (АВР) на шинах 0,38 кВ. Для потребителей III категории предусматриваются цеховые ТП с одним рабочим трансформатором. При выборе числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП будем руководствоваться принципами максимального использования комплектного оборудования» [12].

Для приближенного «выбора числа и мощности цеховых трансформаторов используем обобщенный параметр – плотность нагрузки на той территории, по которой предполагается прокладка линии электропередач (ЛЭП) 0,4 кВ» [22].

Для определения плотности нагрузки потребителей необходимо рассчитать полную мощность всех цехов.

Данные для расчетов возьмем из таблицы 8.

Плотность нагрузки определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{S_p}{F}, \quad (19)$$

где S_p – полная суммарная мощность всех цехов;

F – суммарная площадь всех цехов.

$$\sigma = \frac{7717,4}{18946} = 0,4 \text{ кВА/м}^2.$$

Минимальное число цеховых трансформаторов определяется по формуле:

$$N_{\min} = \frac{P_{p.m}}{k_3 S_{HT}} + \Delta N, \quad (20)$$

«где k_3 – коэффициент загрузки трансформаторов;

S_{HT} – номинальная мощность трансформатора;

ΔN – добавка до ближайшего целого числа;

$P_{p.m}$ – суммарная расчетная активная нагрузка цехов» [21 с. 173] .

Коэффициент загрузки трансформаторов приняли 0,75 в виду преобладания потребителей II категории [6,7].

«В цехах с более, или менее равномерно распределенной нагрузкой со сравнительно мелкими потребителями, допускается при определении единичной мощности трансформаторов ТП 6/0,4 кВ пользоваться следующими критериями при напряжении питающей сети 0,4 кВ» [21]:

$$S_{н.м} = \begin{cases} 1000, 1600 \text{ кВА}, & \sigma \leq 0,2 \text{ кВА} / \text{м}^2 \\ 1600 \text{ кВА}, & 0,2 < \sigma \leq 0,5 \text{ кВА} / \text{м}^2 \\ 2500 \text{ кВА}, & \sigma > 0,5 \text{ кВА} / \text{м}^2 \end{cases} \quad (21)$$

Для расчетной плотности оптимальными являются трансформаторы мощностью 1000 кВА :

$$N = \frac{6472,4}{0,75 \cdot 1000} + 0,37 = 9.$$

«ТП размещаем в цехах с наибольшей нагрузкой. Расстановку производим так, чтобы трансформаторы были наиболее полно загружены на свою номинальную мощность с учётом принятого коэффициента загрузки, а протяженность сетей 0,4 кВ между цехами оказалась по возможности

минимальной» [21]. Принятый вариант размещения цеховых ТП и распределение потребителей представлен на генплане завода и в таблице 9.

Таблица 9 – Распределение нагрузки между цеховыми ТП

ТП	Место установки ТП (присоединенные объекты)	S_p , кВА	Кол-во трансформаторов	Мощность трпнсформаторов $S_{тр}$, кВА	Коэффициент загрузки K_z
ТП1	ОВК	4838	6	1000	0,8
ТП2	ОГК (МК)	1147	2	1000	0,57
ТП3	АКС (СЗ)	1732,3	3	1000	0,58

Объединено-вспомогательный корпус, газовый корпус и азотно-кислородная станция имеют большие мощности, в каждом цехе установим трансформаторную подстанцию. От газового корпуса будет запитываться металлоклад, от азотно-кислородной станции здание зарядки огнетушителей [9].

По данным расчета примем к установке в объединено-вспомогательном корпусе 6 трансформаторов мощностью 1000 кВА, 5 рабочих и 1 в резерв.

Для газового корпуса и азотно-кислородной станции выбор трансформатора одинаковый как на объединено-вспомогательном корпусе.

«Трансформаторы размещается на территории АЭС и питание получает от энергоблоков, то расчет компенсирующих устройств не производится» [19, л. 2].

3.1 Расчет уровней системы электроснабжения

Определим расчетные нагрузки на III, IV, V и VI уровнях электроснабжения.

Активную расчетную нагрузку на III уровне находим по формуле:

$$P_{pIII} = \lambda \cdot P_p, \quad (22)$$

«где $\lambda=0,7$ – корректирующий коэффициент, приведенный в нормах технологического проектирования для предприятий;
 P_p - активная расчетная нагрузка» [10, с. 196].

Рассчитаем активную расчетную нагрузку на III уровне. $P_{pIII} = 0,7 \cdot 3577,15 = 2504$ кВт. Реактивную нагрузку на III уровне находим по формуле:

$$Q_{pIII} = \lambda \cdot Q_p, \quad (23)$$

«где $\lambda=0,7$ – корректирующий коэффициент, приведенный в нормах технологического проектирования для предприятий;
 Q_p - реактивная расчетная нагрузка» [10, с. 196].

Рассчитаем реактивную расчетную нагрузку на III уровне.

$$Q_{pIII} = 0,7 \cdot 2512,01 = 1758,41$$
кВар.

Определим «полную расчетную нагрузку на III уровне по формуле:

$$S_{pIII} = \sqrt{P_{pIII}^2 + Q_{pIII}^2}, \quad (24)$$

«где P_{pIII} – активная нагрузку на III уровне;
 Q_{pIII} – реактивная нагрузку на III уровне» [10, с. 196].

Рассчитаем полную расчетную нагрузку на III уровне:

$$S_{pIII} = \sqrt{2504^2 + 1758,4^2} = 3059,7.$$

Определим активную расчетную нагрузку на IV уровне по формуле:

$$P_{pIV} = \Sigma P_{дв} + P_{pIII}, \quad (25)$$

«где $\Sigma P_{дв}$ – суммарная активная нагрузка выше 1000В;

P_{pIII} – активная нагрузка на III уровне» [10, с. 196].]

Определим «реактивную расчетную нагрузку на IV уровне по формуле:

$$Q_{pIV} = \Sigma Q_{см} + Q_{pIII}, \quad (26)$$

«где $\Sigma Q_{см}$ – суммарная реактивная нагрузка выше 1000В;

Q_{pIII} – реактивная нагрузка на III уровне» [10, с. 196].]

Определим «полную расчетную нагрузку на IV уровне по формуле:

$$S_{pIV} = \sqrt{P_{pIV}^2 + Q_{pIV}^2}, \quad (27)$$

«где P_{pIV} – активная нагрузка на IV уровне;

Q_{pIV} – реактивная нагрузка на IV уровне» [10, с. 196].]

Определим активную расчетную нагрузку на V уровне по формуле:

$$P_{pV} = K_{рм} \cdot P_{pIV}, \quad (28)$$

«где $K_{рм}=0,9$ коэффициент одновременности максимумов нагрузок;

P_{pIV} – активная нагрузка на IV уровне» [10, с. 197].]

Определим реактивную расчетную нагрузку на V уровне по формуле:

$$Q_{pV} = Q_3 - \Delta Q, \quad (29)$$

«где Q_3 – реактивная мощность, потребляемая из энергосистемы в часы

максимума ее нагрузки;

ΔQ – потери реактивной мощности в трансформаторах» [10, с. 197].

Определим мощность, потребляемую из энергосистемы в часы максимума ее нагрузки по формуле:

$$Q_3 = \alpha \cdot P_{pV}, \quad (30)$$

«где $\alpha=0,23$ коэффициент для различных условий питания потребителей электроэнергии;

P_{pIV} – активная нагрузка на IV уровне» [10, с. 197].

Определим потери реактивной мощности для ТСН определяются по следующей формуле [10]:

$$\Delta Q = 0,14 \cdot \sqrt{P_{pV}^2 + Q_3^2}, \quad (31)$$

«где Q_3 - мощность, потребляемая из энергосистемы в часы максимума ее нагрузки;

P_{pV} – активная нагрузка на V уровне» [10, с. 198].

Определим полную расчетную мощность на пятом уровне по формуле:

$$S_{pV} = \sqrt{P_{pV}^2 + Q_{pV}^2}, \quad (32)$$

«где Q_{pV} - реактивная нагрузка на V уровне;

P_{pV} - активная нагрузка на V уровне» [10, с. 198].

Расчет нагрузки на VI уровне не выполняем, потому что энергоснабжение поступает из сети собственных нужд АЭС.

Результаты вычисления уровневых нагрузок занесём в таблицу 10.

Таблица 10 – Расчётные нагрузки трансформаторных подстанций

Место	Реактивная и активная мощность III уровня		Реактивная и активная мощность IV уровня		Реактивная и активная мощность V уровня	
	P_{pIII}	Q_{pIII} , квар	P_{pIV}	Q_{pIV}	P_{pV}	Q_{pV}
ТП. №1	2504кВт	1758,41квар	-	-	-	-
ТП. №2	635,32кВт	457,1квар	2135,3кВт	1582,1квар	-	-
ТП. №3	948,4кВт	703,3квар	2448кВт	1828,3квар	-	-
ГРП	-	-	-	-	6378,93 кВт	3069,36 квар

Вывод: число и мощность выбранных трансформаторов в цеховых трансформаторных подстанциях соответствует требованиям надежности и качеству получаемой электрической энергии потребителями.

4 Построение картограммы. Определение центра электрических нагрузок

«Картограмма представляет собой графическое изображение нагрузок цехов, в виде окружностей, площади которых соответствуют, в выбранном масштабе, расчетным нагрузкам [11].

Центры электрических нагрузок отдельных цехов с распределенной нагрузкой определяют по его площади цеха, предполагая, что электрическая нагрузка распределена равномерно.

Центр электрических нагрузок каждого объекта будет совпадать с центром масс плоской фигуры, изображающей его на генплане» [21].

Радиусы окружностей каждого круга картограммы определяются:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi} + P_{p.oi}}{\pi \cdot m_1}}, \quad (33)$$

где $P_{pi} + P_{p.oi}$ – расчётные суммарная активные нагрузки цехов, кВт;
 m_1 – выбранный масштаб, кВт/мм².

Принимаем $m = 0,1$ кВт/мм². Осветительную нагрузку изображаем в виде сектора круга.

Угол сектора α_i определяем из отношения осветительной нагрузки к суммарной нагрузке цеха:

$$\alpha_i = 360 \frac{P_{p.oi}}{P_{pi} + P_{p.oi}}. \quad (34)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты расчета радиусов окружностей (r) и угла сектора (α)

Наименование объекта	P_{p+} P_{po} ,	P_{po}	r	α , град
объединено-вспомогательный корпус	4162кВт	222,4кВт	35,5мм	20,3
газовый корпус	917,4кВт	17,2кВт	17мм	7
азотно-кислородная станция	1280,3кВт	5,6кВт	20,2мм	2
станция зарядки огнетушителей	108кВт	3,7кВт	6мм	13
металлосклад	4кВт	-	-	-
Газовый корпус (6 кВ)	1500кВт	-	22 мм	-
Азотно-кислородная (6 кВ)	1500кВт	-	22 мм	-

Для определения места расположения ГРП воспользуемся ранее принятым допущением. Центры электрических нагрузок цехов сосредоточены в отдельных точках, центрах нагрузки помещений предприятия [13]. При этом допущении минимальная протяженность распределительной сети 6 кВ предприятия (завода) будет иметь место, при расположении понижающей приемной подстанции (главной распределительной подстанции) в центре электрических нагрузок.

Координаты этого центра будут определяться «формулами:

$$X_0 = \frac{\sum |(P_{pi} + P_{poi}) \cdot X_i|}{\sum_1^n (P_{pi} + P_{poi})}, \quad (35)$$

где X_i – координата центра электрических нагрузок цеха по оси абсцисс» [21, с 56].

$$Y_0 = \frac{\sum |(P_{pi} + P_{poi}) \cdot Y_i|}{\sum_1^n (P_{pi} + P_{poi})}, \quad (36)$$

«где Y_i – координата центра электрических нагрузок цеха по оси ординат» [21, с 56].

Результаты расчетов центров нагрузок объектов представлены в таблице 12.

Таблица 12 - Расчетные величины для определения центра нагрузок

Наименование объекта	$P_p + P_{p.o}$	x, м	y, м	$(P_p + P_{p.o})x$	$(P_p + P_{p.o})y$
Объединено-вспомогательный корпус	4162кВт	710	220	280421 кВт·м	868912кВт·м
Газовый корпус	917,4кВт	500	200	450100кВт·м	180040кВт·м
Азотно-кислородная станция	1280,3кВт	305	50	388692кВт·м	63720кВт·м
Станция зарядки огнетушителей	108кВт	90	50	9450кВт·м	5250 кВт·м
Металлосклад	4 кВт	330	300	1320кВт·м	1200 кВт·м
ОГК (6 кВ)	1500кВт	500	80	750000кВт·м	120000кВт·м
АКС (6 кВ)	1500 кВт	220	50	330000кВт·м	75000кВт·м
Всего	9233,2кВт	-	-	4733778 кВт·м	1314122кВт·м

Определяем координаты центра электрических нагрузок:

$$X_0 = \frac{4733778}{9233,2} = 513 \text{ м ,}$$

$$Y_0 = \frac{1314122}{9233,2} = 142 \text{ м .}$$

Вывод: на основании проведенных расчетов определили оптимальное расположение главной распределительной подстанции, в целях экономии длины распределительных сетей 6 кВ и сетей низкого напряжения 0,4 кВ, что при строительстве системы энергоснабжения позволит сократить расход проводникового материала и снизить потери электрической энергии.

5 Расчет внешнего электроснабжения

5.1 Выбор схемы электроснабжения

Электроснабжение потребителей проектируемой системы электроснабжения осуществляется от двух энергоблока АЭС, питание выполняется кабельными линиями напряжением 6 кВ.

На главной распределительной подстанции (ГРП) размещаются 4 секции напряжения 6 кВ, две секции питаются от энергоблока № 1, две секции от энергоблока № 2. Схема системы электроснабжения объекта представлена на рисунке 1. На АКС и ОГК установлены распределительные пункты РП1 и РП2. РП питается по двум линиям от ГРП.

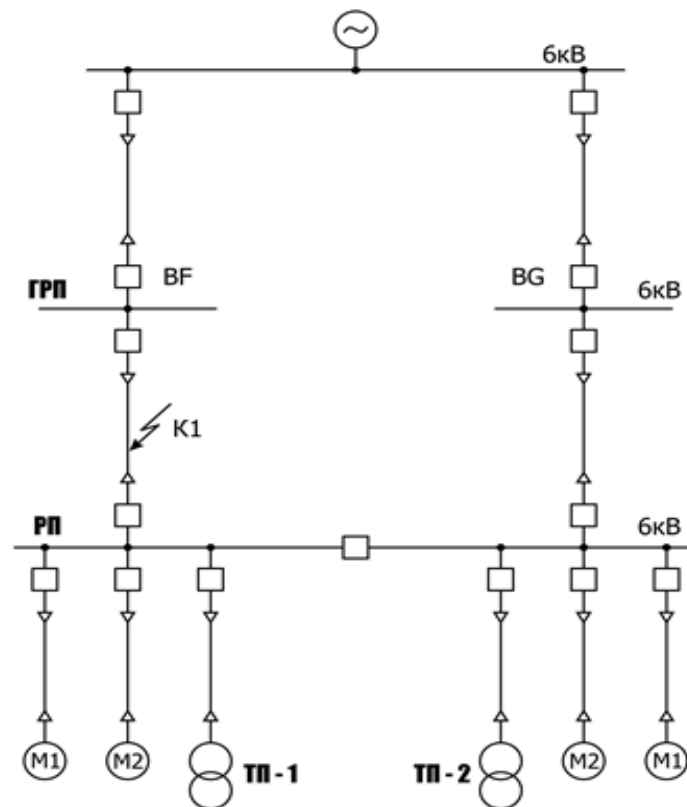


Рисунок 1 - Магистральная схема системы электроснабжения объекта

5.2 Расчет токов короткого замыкания

Для расчета токов замыкания составим схему замещения и найдем параметры ее элементов (рисунок 2).

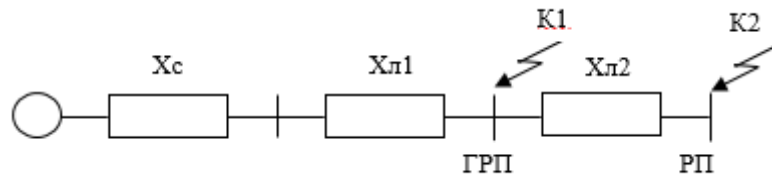


Рисунок 2 – Схема замещения

«Выбираем расчетные точки короткого замыкания К-1 на шинах главной распределительной подстанции. К-2 на шинах цеховых трансформаторов АКС» [11, с. 612].

Принимаем за базисные условия:

- $S_B = 1000$ МВА,
- $U_6 = 6,3$ кВ.

Рассчитаем базисный:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,64 \text{ кА.} \quad (37)$$

Расчет параметров схемы в относительных единицах.

На основании технического задания принимаем сопротивление сети:

$$X_c = 0,38 .$$

$L1 = 0,32$ км – длина первой линии, км.

$L2 = 0,9$ км – длина второй линии, км.

Определим сопротивление линии по формуле:

$$X_L = X_{пл} \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_{ср}^2} \quad (38)$$

где $X_{пл}$ - удельное сопротивление кабельной линии 0,073 Ом/км;
 L - длина линии км.

$$X_{L1} = 0,073 \cdot 0,32 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 0,295.$$

$$X_{L2} = 0,073 \cdot 0,9 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 1,68.$$

Сопротивление цепи до точки К:

$$X_{\Sigma K1} = X_c + X_{L1}.$$

$$X_{\Sigma K1} = 3,28 + 0,295 = 3,58.$$

Ток короткого замыкания в точке К1:

$$I_{K1} = \frac{I_6}{X_{\Sigma K1}}. \quad (39)$$

$$I_{K1} = \frac{91,8}{3,58} = 25,64 \text{ кА}.$$

Сопротивление цепи до точки К2:

$$X_{\Sigma K2} = X_c + X_{L1} + X_{L2}.$$

$$X_{\Sigma K2} = 3,28 + 0,295 + 1,68 = 5,2.$$

Ток короткого замыкания в точке К2:

$$I_{к2} = \frac{91,8}{5,2} = 17,65 \text{ кА.}$$

Определим ударный ток в точке К1 и К2:

$$I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot K_{уд1} \cdot I_{к1}. \quad (40)$$

$$I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 25,64 \cdot 1,8 = 65,3 \text{ кА.}$$

$$I_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 17,65 \cdot 1,8 = 44,9 \text{ кА.}$$

Мощность отключения выключателей:

$$S_{расч.отк.} = \sqrt{3} \cdot I_{к1} \cdot U_{н}. \quad (41)$$

$$S_{расч.отк.1} = \sqrt{3} \cdot 25,64 \cdot 6,3 = 280 \text{ мВА}$$

$$S_{расч.отк.2} = \sqrt{3} \cdot 17,65 \cdot 6,3 = 193 \text{ мВА}$$

Тепловой импульс, $A^2 \cdot c$:

$$B_k \leq I_{пр.т}^2 \cdot t_{\tau}, \quad (42)$$

где $I_{пр.т}$ – предельный ток термической стойкости по каталогу, кА;

t_{τ} - длительность протекания этого тока, с.

$$B_{к1} = 25,64^2 \cdot (0,2 + 0,05) = 164 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

$$B_{к2} = 17,65^2 \cdot (0,2 + 0,05) = 77,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

5.3 Выбор высоковольтных выключателей

Выключатели выбираются по:

- по номинальному напряжению установки $U_{с ном} \leq U_{ном}$,
- по длительному току в аварийном режиме $I_{раб max} \leq I_{ном}$.

Выключатели проверяются:

- на динамическую устойчивость $i_{уд1} \leq I_{дин}$,
- термическую устойчивость $B_k \leq I_{пр.τ}^2 \cdot t_τ$,

где $I_{пр.τ}$ – предельный ток термической стойкости по каталогу, кА;
 $t_τ$ - длительность протекания этого тока, с.

5.3.1 Выбор выключателей на вводах и отходящих линиях ГРП

Расчетные данные необходимые для выбора:

- ток в послеаварийном режиме $I_{max} = 239$ А,
- ток наибольшего короткого замыкания $I_k^{(1)} = 25,64$ кА,
- ударный ток $I_{уд1} = 65,3$ кА.

По расчетному максимальному току выбираем элегазовый выключатель типа ТВЭ-6-40/1250 LF(КЭ6С) УЗ

Результатами представим в таблице 13.

Таблица 13 – Проверка выключателя ТВЭ-6-40/1250 LF(КЭ6С) УЗ

Расчетные данные		Параметры выключателя		Условия выбора
$U_{уст}$, кВ	6	$U_{ном}$	6	$U_{уст} \leq U_{ном}$
I_{max} , А	239	$I_{ном}$	1250	$I_{max} \leq I_{ном}$
$I_k^{(1)}$, кА	25,64	$I_{откл}$	40	$I_k^{(1)} \leq I_{откл}$
$i_v^{(1)}$, кА	65,3	$i_{пр.с}$	102	$i_v^{(1)} \leq i_{пр.с}$
B_k , кА ² · с	164	$I_{пр.τ}^2 \cdot t_τ$	40/3=4800	$I_{пр.τ}^2 \cdot t_τ \geq B_k$

Изложим эксплуатационные характеристики элегазового выключателя ТВЭ-6-40/1250 LF(КЭ6С) УЗ:

- количество перемещений тележки в контрольное положение и обратно в ячейке КРУ - 2000,

- герметичная коммутационная камера, общую для трех полюсов заполненная изоляционным гасящим газом под избыточным давлением 0,15 МПа,
- реле давления коммутационной камеры с уставкой 0,1 МПа и меньше,
- время повторного взвода привода не более 15 с,
- время включения не более 0,08 с,
- сопротивление главной электрической цепи не более 100 мкОм,
- масса тележки не более 350 кг.

Сравнивая расчетные данные и характеристики выключателя можно сделать вывод, что он по всем параметрам подходит для установки на вводах ГРП.

5.3.2 Выбор выключателей на вводах и отходящих линиях РП

Расчетные данные необходимые для выбора:

- ток в послеаварийном режиме $I_{max} = 78$ А,
- ток наибольшего короткого замыкания $I_k^{(2)} = 17,65$ кА,
- ударный ток $I_{уд1} = 44,9$ кА.

По расчетному максимальному току выбираем элегазовый выключатель типа ТВЭ-6-40/1250 LF(КЭ6С) У3. Результаты проверки представим в таблице 14.

Таблица 14 – Проверка выключателя ТВЭ-6-40/1250 LF(КЭ6С) У3

Расчетные данные		Параметры выключателя		Условия выбора
$U_{уст}$, кВ	6	$U_{ном}$	6	$U_{уст} \leq U_{ном}$
I_{max} , А	78	$I_{ном}$	1250	$I_{max} \leq I_{ном}$
$I_k^{(1)}$, кА	17,65	$I_{откл}$	40	$I_k^{(1)} \leq I_{откл}$
$i_y^{(1)}$, кА	44,9	$i_{пр.с}$	102	$i_y^{(1)} \leq i_{пр.с}$
B_k , кА ² · с	77,9	$I_{пр.τ}^2 \cdot t_τ$	40/3=4800	$I_{пр.τ}^2 \cdot t_τ \geq B_k$

5.4 Выбор кабельных линий

Выбор сечений кабельных линий выше 1кВ производится по экономической плотности тока, значения которых определены в ПУЭ [14].

Последовательность расчета. Находится рабочий ток, по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{A} \quad (43)$$

где S_p – полная расчетная мощность секции;

U_n – номинальное напряжение на секции.

Максимальный ток:

$$I_{max} = k_{ав} \cdot I_{раб}, \text{A} \quad (44)$$

Определяется эффективное сечения кабельных линий, по экономической плотности тока [15]:

$$S_{э} = \frac{I_p}{J_{эп}}, \quad (45)$$

где $J_{эп} = 1,2 \text{ А/мм}^2$ – экономическая плотность тока, принимаемой согласно ПУЭ для алюминиевых проводов с бумажной, резиновой и поливинилхлоридной изоляцией [20];

$I_{раб}$ - номинальный рабочий ток в линии.

Найденное расчетное сечение округляется до стандартного сечения.

Проводится проверка по допустимой токовой нагрузке по условию:

$$I_{max} < I_{доп}.$$

Проводится проверка по термической стойкости:

$$S_T = \frac{\sqrt{Bk}}{K_T}, \quad (46)$$

где Vk – тепловой импульс $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$,

K_T – температурный коэффициент, который учитывает ограничение допустимой t нагрева жил кабеля, $K_T = 90$ для алюминиевых жил [17].

Проверка по потере напряжения проводится у линий длиной более 1 км.

5.4.1 Выбор кабельной линии ГРП

Определим нагрузку на одну из четырех секций из условия, что нагрузка по секциям распределяется равномерно [19]:

$$S_{\text{сек}} = \frac{S}{n}, \text{ кВА}, \quad (47)$$

где $S_{\text{р сек}}$ – нагрузка на одну из четырех секций;

n – количество секций.

Рассчитаем нагрузку на одну из четырех секций

$$S_{\text{сек}} = \frac{7078,96}{4} = 1769,74 \text{ кВА}.$$

Рабочий ток секции

$$I_p = \frac{1769,74}{\sqrt{3} \cdot 6} = 170,5 \text{ А}.$$

Максимальный ток секции

$$I_{\text{max грп}} = 1,4 \cdot 170,5 = 239 \text{ А}.$$

Эффективное сечение кабеля

$$S_{\Sigma} = \frac{170,5}{1,2} = 142,1 \text{ мм}^2.$$

Близкое стандартное сечение 150 мм². Выберем кабель марки ААШв 3х150 с алюминиевыми жилами алюминиевой оболочкой в поливинилхлоридном шланге [23].

Для данного марки электрокабеля, прокладываемого на воздухе (эстакадах), напряжением 6 кВ допустимый ток $I_{доп} = 225 \text{ А}$.

Условие $I_{max} = 239 \text{ А} < I_{доп} = 225 \text{ А}$ не выполняется.

Возьмем кабель той же марки сечением 185 допустимый ток $I_{доп} = 250 \text{ А}$. Условие $I_{max} = 239 \text{ А} < I_{доп} = 250 \text{ А}$ выполняется.

Проверим сечение кабеля по термической стойкости:

$$S_T = \frac{\sqrt{164000000}}{90} = 142,3 \text{ мм}^2.$$

Соответственно кабель с сечением 150 мм² проходит по термической стойкости к токам короткого замыкания. Данный кабель оставляем для дальнейшего рассмотрения.

5.4.2 Выбор линии ГРП – РП

Аналогично 5.4.2 рассчитываем рабочие, максимальные токи, эффективное сечение кабеля, выбор кабеля и проверку на допустимые токи для линий ГРП-РП1 и ГРП-РП2 [25]. Результаты сводим в таблицу 15.

Таблица 15 – Данные для выбора кабеля

Линия	S_p , кВА	Число линий	$I_{раб}$, А	I_{max} , А	S_{Σ} , мм ²	$S_{ст}$, мм ²	$I_{доп}$ А
ГРП-РП1	2657,6	2	128	179	149	150	225
ГРП- РП2	3055,7	2	147	206	171	185	250

Для линии ГРП-РП1 возьмем кабель марки ААШв 3х150.

Проверим сечение кабеля по термической стойкости:

$$S_T = \frac{\sqrt{77900000}}{90} = 98 \text{ мм}^2.$$

Для линии ГРП-РП2 возьмем кабель марки ААШв 3х185.

Проверим сечение кабеля по термической стойкости:

$$S_T = \frac{\sqrt{77900000}}{90} = 98 \text{ мм}^2.$$

Вывод: выбранные сечения линий проходят проверки на допустимые токи и по термической прочности. Примем их для дальнейшего рассмотрения.

6 Расчет внутреннего электроснабжения ОГК и АКС

6.1 Выбор кабельных линии для двигателей и трансформаторов

Проведем выбор и проверку кабеля на допустимые токи и по термической прочности для двигателей и трансформаторов.

Результаты сводим в таблицу 16.

Таблица 16 – Данные для выбора кабельных линий двигателей и трансформаторов

Источник	S_p , кВА	Число линий	$I_{раб}$, А	I_{max} , А	$S_{э}$, мм ²	$S_{ст}$, мм ²	$I_{доп}$, А
ТП1	1147	2	55,2	77,3	91	95	165
ТП2	1732,3	3	55,6	77,8	46	50	110
М1,М2	1000	1	96	134	80	95	165

Выбранные сечения линий проходят проверки на допустимые токи.

Проверим сечение кабелей марки 50 мм² и 95 мм² по термической стойкости:

$$S_T = \frac{\sqrt{77900000}}{90} = 98 \text{ мм}^2.$$

Данные сечения не проходят по термической прочности.

Поэтому для дальнейшего рассмотрения примем кабель с большим сечением 120 мм².

6.2 Расчет распределительной сети ОГК и АКС напряжение 0,4 кВ

АКС питается от РП-2, кабельными линиями, проложенными на эстакадах. Все приемники относятся ко 2 категории надежности, питаются от

четырёх распределительных пунктов питания ПР1-ПР4, напряжением 380/220 В.

Отдельный газовый корпус питается от РП-1, кабельными линиями, проложенными на эстакадах. Приемники 2 и 3 категории надежности, питаются от шести пунктов питания ПР5-ПР10, напряжением 380/220 В.

Распределение пунктов приема и их нагрузки представлены в таблице 17.

Выбор автоматических выключателей на линиях, отходящих от пунктов питания производят по следующей схеме:

- определяется расчетный ток по формуле

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

- выбранный выключатель проверяется по условию

$$I_{нрасц} \geq 1,25 \cdot I_{рмах},$$

где $I_{нрасц}$ – ток номинальный расцепления.

Проверяем выключатель по условию:

$$I_{нрасц} \cdot \varepsilon \geq 1,25 \cdot I_{пик},$$

где $I_{нрасц} \cdot \varepsilon$ – ток уставки объединено-вспомогательный корпуса мгновенного срабатывания электромагнитного расцепителя.

$$I_{пик} = I_{пуск} + (I_p - K_{и} \cdot I_{ном.д}), \quad (48)$$

где $I_{ном.д}$ – номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током;

$I_{пуск}$ – наибольший из пусковых токов двигателей группы приемников;

$K_{и}$ - коэффициент использования для двигателей с наибольшим пусковым током.

$$I_{\text{пуск}} = K_{п} \cdot I_{н.д.} \quad (49)$$

где $K_{п} = 4,5$ – пусковой коэффициент двигателя.

Выбираем линию питания ПР из условия нагрева $I_{доп} \geq I_p$.

Проведем выбор автоматических выключателе на линии пункта приема ПР1. Расчетный ток ПР1

$$I_p = \frac{457}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 501 \text{А.}$$

По току выбрали трехполюсной автоматический выключатель типа А3700 с полупроводниковым расцепителем А3794С, с номинальный ток расцепления $I_{нрасц} = 630 \text{А}$. Условие $I_{нрасц} = 630 \geq 1,25 \cdot 501 = 626,3 \text{А}$ выполняется.

Проверяем автоматический выключатель по условию пикового тока:

$$I_{н.д.} = \frac{P_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot \cos\phi \cdot \eta} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 338 \text{А.}$$

$$I_{\text{пуск}} = 4,5 \cdot 338 = 1521 \text{А.}$$

$$I_{\text{пик}} = 1521 + (501 - 0,7 \cdot 338) = 1785,4 \text{А.}$$

$$I_{нрасц} \geq 1,25 \cdot 1785,4 = 2001,75 \text{А.}$$

$$I_{нрасц} \geq 2001,75 \text{А.}$$

Условие выполняется $I_{расц} = 2005 \geq 2001,75A$. Данный выключатель подходит по всем требованиям, примем его к установке.

Выбор линии питания ПР $I_{доп} = 2 \cdot 255 \geq I_p = 501A$. По допустимому току подходит кабель АВВГ 2(3х95+1х70).

Проведем проверку кабеля по потере напряжения:

$$l_{доп} = \Delta u 1\% \cdot \Delta U_{доп} \frac{I_{доп}}{I_p} = 28 \cdot 5 \cdot \frac{510}{501} = 142,5 \text{ м.}$$

Длина линии 20 м, выбранный кабель проходит проверку по потере напряжения. Выбор автоматических выключателей на других линиях проводим аналогично. Результаты расчетов и выбора выключателей и кабельных линий представим в таблице 17.

Таблица 17 - Результаты расчетов и выбора выключателей

Объект	Пункты приема	S _p , кВА	I _p , А	I _{max} , А	Тип АВВ	I _{расщ} , А	I _{расщ.э} , А	Сечение кабеля АВВГ	Число кабелей
ОГК	ПР1	457	501	626	A3794C	630	2055	(3·95+1·70)	2
	ПР2	467,2	510	638	A3794C	630	2055	(3·95+1·70)	2
	ПР3	120	173	217	A3734C	250	822	(3·95+1·70)	2
	ПР4	44	65	79	A3734C	250	822	(3·95+1·70)	2
АКС	ПР5	311	449	561	A3794C	630	2055	(3·95+1·70)	2
	ПР6	306	442	552	A3794C	630	2055	(3·95+1·70)	2
	ПР7	306	442	552	A3794C	630	2055	(3·95+1·70)	2
	ПР8	342	494	617	A3794C	630	2055	(3·95+1·70)	2
	ПР9	318	460	574	A3794C	630	2055	(3·95+1·70)	2
	ПР10	146	211	263	A3734C	400	822	(3·95+1·70)	2

Вывод: по нагрузкам пунктов приема рассчитали рабочие и максимальные токи, на основании которых выбрали автоматические выключатели типа А3700. Данные выключатели проверили по току расщепления, пиковому току. Также по току выбрали сечение кабеля марки АВВГ для каждого пункта приема, проверили кабель по току нагрева и потере напряжения.

7 Расчет релейной защиты двигателей

7.1 Управление пуском высоковольтного электродвигателя

«Рассмотрим управление релейной защиты и автоматики, при включении ключа КУ включается реле КСС1 и замыкает контакт КСС1» [16]. «Срабатывает реле включения YAC1 и приводит в действие пружину выключателя Q1, выключатель включен, одновременно срабатывает реле фиксации команд выключателя KQQ1, замыкая цепь сигнализации положения выключателя, контакт KQQ1 и Q1, загорается лампа Л4, сигнализируя включение двигателя» [16]. «Так же срабатывает реле блоки объединено-вспомогательный корпуса от многократных включений KBS1, не давая повторно производить операцию включения» [16].

«При выключении ключа КУ включается реле команд КСТ1, через контакт КСТ1 подается питание на реле YAT1, которое приводит в действие пружину на отключение выключателя Q1, одновременно включается реле KQQ1 и через контакт цепи сигнализации KQQ1 включает лампу Л5 выключено» [16].

«При срабатывании реле токовой отсечки КА1 или КА2 замыкаются контакты КА1 и КА2, которые питают реле КН2, которое в свою очередь дает питание на промежуточное реле KL1 и контакт КН2 цепь блинкера (обрыв цепей управления, защита), и сигнальную лампу HLW1, реле KL1 замыкает контакт KL1, в цепи отключения выключателя, срабатывает реле KQC1 и реле YAT1 и выключатель Q1 отключается, на пульте управления загорается лампа L4» [16].

«При повышении номинального тока двигателя при перегрузке включается реле КА3, замыкая контакт КА3, срабатывает реле КТ1, которое дает питание реле KL1, реле KL1 включает цепь выключения Q1 и цепь сигнализации» [16].

«Защита от замыкания на землю в сети 6 кВ работает следующим образом. При замыкании на землю через трансформатор тока срабатывает реле КА4, которое замыкает контакт КА4 и включает реле КН4, реле КН4 включает выходное промежуточное реле КЛ2, которое в свою очередь через контакт КЛ2 включает реле КQC1 и YAT1, реле YAT1, воздействуя на пружину выключателя Q1, отключает его» [16].

«Дуговая защита установлена на шине ячейки 6кВ, в виде металлической шторки и концевого выключателя, при замыкании на шинах 6 кВ возникает дуга и она выбивает шторку, которая давит на концевой выключатель KSP1, концевой выключатель KSP1 находится в цепи реле КН6 и включает его. Через токовую отсечку выключается выключатель секции 6 кВ» [16].

7.2 Защита электродвигателей от перегрузки

«Первичный ток срабатывания защиты от перегрузки выбирается по условию отстройки от номинального тока электродвигателя» [2, с. 35]. Ток срабатывания защиты определяем по следующей «формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{длит.дв.}, \quad (50)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, который равен $1,1 \div 1,2$ при действии защиты на отключения;

K_B – коэффициент возврата реле, равный 0,8;

$I_{длит.дв.}$ – длительно допустимый ток электродвигателя» [26, с. 74].

Длительно допустимый ток электродвигателя определяется умножением коэффициента запаса, равного 1,1 на номинальный ток двигателя по следующей формуле:

$$I_{\text{длит.дв.}} = 1,1 \cdot I_{\text{ном.дв.}} \quad (51)$$

При этом номинальный ток двигателя равен 113А, подставляя это значение в формулу (51), получим длительно допустимый ток двигателя

$$I_{\text{длит.дв.}} = 1,1 \cdot 113 = 124,3 \text{ А.}$$

Подставляя полученное значение длительно допустимого тока двигателя в формулу (50) получим значение первичного тока срабатывания защиты

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 124,3 = 186,5 \text{ А.}$$

«Выдержка времени защиты от перегрузки выбирается из условия надежного несрабатывания защиты при пуске» [2, с. 36]. Необходимый интервал времени на выдержку защиты от перегрузки определяется по следующей формуле:

$$t_{\text{с.з.}} \geq K_{\text{зап}} \cdot t_{\text{пуск}}; \quad (52)$$

«где $K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, принимаем равным 1,3;

$t_{\text{пуск}}$ – время пуска для электродвигателя (согласно паспорта), принимаем равным 9,5с» [2, с. 35].

Подставляя принятые значения в формулу (52), получаем фактическое значение выдержки времени защиты от перегрузки

$$t_{\text{с.з.}} \geq 1,3 \cdot 9,5 = 12,35 \text{ с.}$$

«Допустимое время перегрева нагруженного электродвигателя при небольших перегрузках можно определить по приближенному выражению, для этого используем следующую формулу» [2, с. 37].

$$t_{\text{доп}} = \frac{150}{K_1^2 - 1} \quad (53)$$

«где $K_1 = \frac{I_{\text{длит.дв.}}}{I_{\text{ном}}}$ – ток перегрузки (длительно допустимый ток двигателя), отнесенный к номинальному току» [2, с. 37].

Используя значение номинального тока двигателя, равное 113А, а также полученное значение длительно допустимого тока двигателя, равное 124,3А получим фактическое значение интервала допустимого времени перегрева нагруженного электродвигателя

$$t_{\text{доп}} = \frac{150}{\left(\frac{124,3}{113}\right)^2 - 1} = 714,3 \text{ с.}$$

Вывод: для определения уставок защитного реле электродвигателя, определен первичный ток срабатывания защиты от перегрузки, допустимое и фактическое время перегрузки.

8 Выбор освещения помещений

Расчет освещения помещения выполняется двумя методами:

- точечным методом,
- методом коэффициента использования светового потока.

В данной работе используется метод коэффициента использования.

«Порядок расчета по этому методу:

- определяется требуемая нормами освещенности E , выбор которой зависит от размера помещения, контраста объекта с фоном и коэффициент отражения фона (рабочей поверхности).
- определяется тип светильников и их предварительное число n » [18].

Определяется индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{L_{\text{ц}}B_{\text{ц}}}{h(L_{\text{ц}}+B_{\text{ц}})}, \quad (54)$$

«где $L_{\text{ц}}$ - длина помещения, м;

$B_{\text{ц}}$ - ширина помещения, м;

h - расчетная высота подвеса светильника» [18, л. 4].

Определяем КПД светильника $\eta_{\text{с}}$ и КПД помещения $\eta_{\text{п}}$.

Определяется коэффициент использования светового потока $\eta = \eta_{\text{с}} \times \eta_{\text{п}}$.

Определяется «световой поток определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_{\text{зап}} \cdot z \cdot F}{N \cdot \eta}, \quad (55)$$

где $E_{\text{н}}$ – нормируемая освещенность, лк;

$K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса;

η – коэффициент использования светового потока;

F – освещаемая площадь, м^2 ;

$z = E_{\text{ср}}/E_{\text{н}}$ - коэффициент минимальной освещенности для ламп 1,1» [8].

Определяем «количество необходимых светодиодных светильников по формуле:

$$N = \frac{E \cdot K_{\text{зап}} \cdot z \cdot F}{n \cdot \eta \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (56)$$

где E – норм. освещенность, лк;
 $K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса;
 η – коэффициент использования светового потока;
 F – освещаемая площадь, м²;
 $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток, лк;
 $z = E_{\text{ср}}/E_{\text{н}}$ – коэффициент минимальной освещенности» [8].

Проведем расчет освещения АКС, площадь которой 360 м².

Световой поток светильника:

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 360}{14 \cdot 1,15} = 5534 \text{ лм.}$$

По найденному световому потоку выбираем светодиодные светильники Ритм СПС-65 с $\Phi = 4800$ лк.

Количество необходимых светодиодных светильников:

$$N = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 360}{1 \cdot 1,15 \cdot 4800} = 16 \text{ шт.}$$

Количество светодиодных светильников в одном ряду:

$$N1 = \frac{N}{m} = \frac{16}{2} = 8 \text{ шт.},$$

где N – количество светильников;
 m – количество рядов.

Проведем расчет освещения трансформаторной подстанции АКС, площадь которой 216 м²

Световой поток светильника трансформаторной подстанции:

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 216}{10 \cdot 1,15} = 4648 \text{ лм.}$$

Выбираем светодиодные светильники LP- PROM36M1L с $\Phi = 4320$ лк.

Определяем количество светодиодных светильников в помещении трансформаторной подстанции:

$$N = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 216}{1 \cdot 1,15 \cdot 4320} = 10 \text{ шт.}$$

Определяем количество светодиодных светильников на помещение трансформаторной подстанции в каждом ряду:

$$N1 = \frac{10}{2} = 5 \text{ шт.}$$

Выбор освещения производственного помещения объединено-газового корпуса и трансформаторной подстанции проводим по аналогии выбора освещения АКС.

Вывод: при выборе освещения производственных помещений применили метод коэффициента использования светового потока. Для АКС, площадью 360 м², выбрали светодиодные светильники Ритм СПС-65 с $\Phi = 4800$ лк, 2 ряда по 8 штук в ряду. Для АКС ТП, площадью 216 м² выбираем светодиодные светильники LP- PROM36M1L с $\Phi = 4320$ лк, 2 ряда по 5 штук в ряду. Аварийное освещение выбираем 10 %, от нормируемой освещенности.

9 Расчет защитного заземления трансформаторной подстанции

Рассчитывать заземляющее устройство будем для трансформаторной подстанции ТП-2, находящейся на газовом корпусе.

Подстанция имеет два трансформатора ТСЗ -1000/6 с изолированными нейтралью на стороне напряжения 6 кВ, глухозаземленной нейтралью на стороне напряжения 0,4 кВ.

В соответствии с правилами устройств электроустановок сопротивление заземления (R_z) для установок с глухозаземленной нейтралью с напряжениями до 1 кВ принимается 4 Ома.

Так как заземляющее устройство является совмещенным для установок 6 и 0,4 кВ, принимаем сопротивление 4 Ома для всей электроустановки.

Площадь трансформаторной подстанции -780м², грунт - суглинок.

Рассчитываем заземляющее устройство в виде замкнутого контура с площадью $S=576\text{м}^2$ (24x24м).

Материал вертикального электрода - сталь (пруток) диаметром 16мм, верхние концы вертикальных стержней погружены на глубину 0,7м. Горизонтальный электрод – стальная полоса 40x4мм.

Удельное сопротивление грунта определяем по формуле:

$$\rho_p = K_{\text{сез}} \cdot \rho \quad (57)$$

«где $K_{\text{сез}}$ – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта;

ρ_p – расчетное удельное сопротивление грунта» [24, с. 89].

Находим из таблицы 1.13.2 [24, с. 90] коэффициент сезонности для горизонтальных, вертикальных заземлителей от поверхности земли.

Удельное сопротивление грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей:

$$\rho_{p,r} = 5,8 \cdot 100 = 580 \text{ ом}\cdot\text{м},$$

$$- \rho_{p.v} = 1,9 \cdot 100 = 190 \text{ ом} \cdot \text{м.}$$

Принимаем контур заземления с суммарной длиной горизонтального электрода 96 м, вертикальных электродов 24 штуки, установленных через 4 метра. Находим сопротивление растекания одного вертикального электрода по формуле:

$$r_B = \frac{\rho_{\text{расч.в}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + \frac{1}{1} \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right) \quad (58)$$

где d – диаметр электрода, по условиям 16 мм;

t – глубина заложения электрода по условиям 0,7 м, умноженная на длину электрода;

l – длина вертикального электрода, по условиям 5 м.

Сопротивление растекания вертикального электрода 43,8 Ом.

Находим сопротивление растекания одного горизонтального электрода по формуле:

$$R_r = \frac{\rho_r}{2\pi l_r} \ln \left(\frac{2l_r^2}{bt} \right) \quad (59)$$

где b – ширина полосы горизонтального электрода, 0,4 м;

t – глубина заложения горизонтального электрода, 0,7 м.

Рассчитываем сопротивление растекания одного горизонтального электрода $r_r = 12,89$ Ом.

Вертикальные электроды длиной 5 метров в количестве 24 штук, установлены через 4 метра.

Коэффициент использования горизонтального электрода $\eta = 0,27$, коэффициент использования вертикальных электродов $\eta = 0,47$ [5].

«Уточненное количество вертикальных электродов определим по формуле:

$$N_B = \frac{R_B}{\eta_B \cdot R_3}, \quad (60)$$

где r_B – сопротивление растекания одного вертикального электрода;
 R_3 – сопротивление объединено-вспомогательный корпуса при использовании искусственных заземлителей;
 η_B – коэффициент использования вертикальных электродов»
 [24, с. 90].

Уточненное значение вертикальных электродов при использовании только искусственных электродов:

$$N_B = \frac{43}{0,47 \cdot 4} = 23,3.$$

Сопротивление горизонтальной полосы в контуре с учетом коэффициента использования по формуле:

$$R'_r = \frac{R_r}{\eta_r}, \quad (61)$$

где r_r – сопротивление растекания одного горизонтального электрода;
 η_r – коэффициент. использования горизонтального электрода.

Сопротивление горизонтальной полосы в контуре с учетом коэффициента использования:

$$R'_r = \frac{12,89}{0,27} = 47,74 \text{ Ом.}$$

Определяем необходимое R_{3y} по формуле:

$$R_B' = \frac{R_r \cdot R_3}{R'_r - R_3}, \quad (62)$$

«где R_{Γ} - сопротивление горизонтальной полосы в контуре с учетом коэффициента использования;

R_3 – сопротивление установки при использовании только искусственных заземлителей» [24, с. 89].

Необходимое сопротивление вертикальных заземлителей с учетом горизонтальной соединительной полосы:

$$R_B' = \frac{47,74 \cdot 4}{47,74 - 4} = 4,37 \text{ Ом.}$$

Уточненное число вертикальных заземлителей при использовании только искусственных заземлителей по формуле:

$$N_B'' = \frac{R_B}{\eta_B \cdot R_3}, \quad (63)$$

где R_B - сопротивление вертикальных заземлителей с учетом горизонтальной соединительной полосы.

Уточненное число вертикальных заземлителей при использовании только искусственных заземлителей

$$N_B'' = \frac{43}{0,47 \cdot 4,37} = 21,3.$$

Принимаем к расчету 22 вертикальных заземлителя (стержни).

Определим сопротивление вертикальных заземлителей по формуле:

$$R_B = \frac{r_B}{N_B'' \cdot \eta_B''}, \quad (64)$$

«где r_B – сопротивление вертикальных заземлителей с учетом горизонтальной соединительной полосы;

N'' – уточненное число вертикальных заземлителей;
 η_v – коэффициент исп. вертикального электрода» [24, с. 89].

Произведём расчёт сопротивление вертикальных заземлителей

$$R_v = \frac{43,8}{22 \cdot 0,47} = 4,24 \text{ ом.}$$

Определим R_{3y} подстанции по формуле:

$$R_{3y} = \frac{R_r R_3}{R_r - R_3} \quad (65)$$

«где R_v - сопротивление вертикальных заземлителей;

R_r - сопротивление горизонтальной полосы в контуре с учетом коэффициента использования» [24, с. 89].

Рассчитаем сопротивление заземляющего устройства подстанции

$$R_{3y} = \frac{47,74 \cdot 4,24}{47,74 + 4,24} = 3,89 \text{ ом.}$$

Вывод: расчетное сопротивление заземляющего устройства подстанции $R_{3y} = 3,89 \text{ ом} < R_{3y \text{ доп.}} = 4 \text{ Ом}$, поэтому в устройстве заземляющего устройства вносим изменения в части увеличения суммарной длины горизонтальной полосы электрода до 110 метров с количество вертикальных электродов 22 штуки.

Заключение

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения азотно-кислородной станции и газового корпуса ЭС, обеспечивающей надежность и качество электроэнергии потребителей.

В ходе выполнения работы были решены следующие задачи.

Определены электрические нагрузки объектов системы электроснабжения и построена картограмма нагрузок, на основании которых определено число и места установки цеховых трансформаторных подстанций и пунктов питания приемников.

Разработана электрическая схема соединения элементов системы электроснабжения. Проведен расчет и выбор кабельных линий транспортировки электрической энергии для системы питания и распределения.

Выбрано электрооборудование внешней и внутренней сети.

На линиях, отходящих от ГРП и на входящих линиях, выбраны элегазовые выключатели ТВЭ-6-40/1250, выбор обусловлен надежной эксплуатацией и ремонтпригодностью.

На основании расчета нагрузки выбраны кабельные линии от ГРП, линии к ТП и потребителям 0,4 кВ, электрический кабель марки ААШв и АВВГ.

Выполнено описание релейной защиты и автоматики управления электродвигателя 6 кВ.

Рассчитаны нагрузки освещения в зданиях газовый корпус и азотно-кислородная станция, выбраны типы и число светильников по световому потоку.

Произведен расчет контурного заземления электрооборудования и зданий газовый корпус и азотно-кислородная станция.

В данной работе при решении всех задач соблюдались все требования проектирования систем электроснабжения.

Список используемых источников

1. Артемов А.И. Электроснабжение промышленных предприятий в примерах и задачах под ред. Минченкова В.И. Смоленск, 2010. 300 с.
2. Андреев В.А. Релейная защита, автоматика систем электроснабжения. Ульяновск, 2007. 231 с.
3. Базуткин В.В. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах. М. «Энергоатомиздат», 1996. 451 с.
4. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>.
5. Вахнина В.В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>.
6. ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. М. Изд-во стандартов, 2012. 88 с.
7. Кабышев А.В. Расчет и проектирование систем электроснабжения. Справочные материалы по электрооборудованию: учеб. пособие. Том. политехн. ун-т. Томск, 2007. 168 с.
8. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения/Г.М. Кнорринг. М.: Оникс, 2012. 344 с.
9. Конюхова Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс]: учебник. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. 510 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72338>.
10. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Издательский центр «Академия», 2016. 352 с.

11. Киреева Э.А. Полный справочник по электрооборудованию электротехнике (с примерами расчета): справочное издание. М.: КНОРУС, 2012. 864с.
12. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: учебное пособие. М.: КНОРУС 2016. 368с.
13. Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения. Справочное пособие. СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2010. 664 с.
14. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. СПб. Изд-во ДЕАН, 2015. 704 с.
15. Проект 210015.0704324.21 ЭП 01 1098 Объединённый газовый корпус, электротехнические чертежи. МЭиЭ СССР. ЭТО. Теплоэлектропроект г. Свердловск. 1984. 94 с.
16. Проект 210015.0704324.21 ПЗ 1098 Релейная защита и автоматика газовый корпус. МЭиЭ СССР. ЭТО. Теплоэлектропроект. г. Свердловск 1984. 9 с.
17. Проект 210015.0704324.22 ЭП 01 1169 Электротехнические схемы первичных соединений объединено-вспомогательный корпус. МЭиЭ СССР. ЭТО. Теплоэлектропроект. г. Свердловск 1984. 16 с.
18. Проект 9/33322-Д-501424-ЭО.С. Перевод традиционных источников освещения территории и освещения АС на источники освещения нового поколения на базе светодиодов. ООО ПКФ Метэк-Энерго, Нижний Новгород. 2012. 13 с.
19. Проект 9/33322-Д-501763-ЭО. Электротехнические схемы первичных соединений. ООО ПКФ Метэк-Энерго, Нижний Новгород. 2012. 17 с.
20. Рожкова Л.К., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник. М.: Академия, 2013. 448 с.

21. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю. Основы электроснабжения: учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск. Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 180 с.
22. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебник. М. Берлин. Директ-Медиа, 2014. 337.
23. Схема первичных соединений на территории АЭС. С0. ЭЦ/20. г. Балаково. Балаковская АЭС. 2005. 18 с.
24. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. 4-е изд., перераб. и доп. СПб. ПЭИПК, 2008. 350 стр.
25. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М. ФОРУМ инфра-м, 2015. 496 с.