

АННОТАЦИЯ

Темой ВКР является «Проектирование электрооборудования и электрохозяйства торгового центра».

Под целью работы понимается создание экономически эффективной и надежной схемы электрооборудования и электрохозяйства торгового центра. В соответствии с поставленной целью в данной работе сделан анализ объекта. Проведенный анализ объекта помог провести расчет электрических нагрузок торгового центра и сделать выбор соответствующего электрооборудования, которое соответствует современным нормам, правилам и другим важным критериям.

Для достижения цели ВКР был выполнен ряд задач. Проведен расчет электрических нагрузок проектируемого объекта. По расчетам нагрузок, назначению объекта и условиям прокладки были выбраны кабели для силовой и распределительной сетей, соответствующие кабелям автоматы. С учетом свода норм и правил освещенности были рассчитаны и выбраны осветительные установки для наружного и внутреннего освещения. С учетом расчетных нагрузок, осветительной, пожарной нагрузки были выбраны соответствующие трансформаторы. Исходя из ТКЗ было проверено оборудование КТП каталога СЭЩ по различным параметрам. Проведен расчет заземления и молниезащиты торгового центра.

Пояснительная записка выполнена на 54 страницах, содержит 13 таблиц, 2 рисунка, 22 источников, 5 из которых – иностранные. Графическая часть представлена на шести листах формата А1.

ABSTRACT

The title of the thesis is "Design of electrical equipment and electrical facilities of the shopping center".

The graduation work consists of an explanatory note on 54 pages, introduction, including 2 figures, 13 tables, the list of 22 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of the work is to design an electric utility, to calculate and to select the electrical equipment, which is necessary to ensure high reliability and economy of a shopping center.

To achieve this goal, we set a number of tasks. We give full coverage to the power supply system of the center; the calculation of electrical loads, lighting, cable sections, the selection fixtures, electrical equipment and devices is carried out. On the basis of the loads calculation the type, number and transformers power have been selected. The issues of energy efficiency and economic component are highlighted in the project's general part. The special part of the work gives details about the system of grounding and lightning protection of the building. The design and calculation of these parameters are mandatory in the design of the power supply system for buildings and structures, since this affects the life and safety of people.

The result of the graduation work is the following: the power supply system of the shopping center was designed and the appropriate electrical equipment was selected.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Расчет электрических нагрузок	6
2 Расчет электрического освещения.....	14
3 Выбор трансформаторов и компенсирующих устройств	19
3.1 Выбор силовых трансформаторов.....	19
3.2 Расчет компенсирующих устройств.....	22
4 Расчет токов КЗ	26
4.1 Расчет токов КЗ выше 1 кВ	26
4.2 Расчет токов КЗ ниже 1 кВ.....	29
5 Выбор схемы распределительной сети объекта.....	34
6 Выбор оборудования.....	36
6.1 Выбор автоматических выключателей	36
6.2 Выбор трансформаторов тока.....	39
6.3 Выбор разъединителей	42
6.4 Выбор кабелей	43
7 Расчет сопротивления заземляющего устройства и молниезащита	48
Заключение	51
Список используемых источников.....	52

ВВЕДЕНИЕ

Торговый центр — это группа предприятий, занимающиеся торговлей, а также продажей различных товаров, которые управляются как единое целое и которые находятся в одном здании либо комплексе зданий. Торговый центр является общественным зданием. В условиях развития торговых отношений, а также развития рынка услуг существует проблема высокой стоимости арендной платы торговой площади, а также оборудования и условий для обеспечения их работы. Поэтому люди для открытия своего бизнеса все чаще прибегают к использованию торговых центров, поскольку торговые центры имеют высокую проходимость и оказывают необходимые удобства.

Также, торговые центры выгодны с точки зрения безопасности, экономии земельных и энергетических ресурсов. За работу эффективность использования ресурсов торговым центром отвечает правильный выбор оборудования и грамотность проектирования электрохозяйства торгового центра.

Основными потребителями электроэнергии торгового центра являются вентиляционное оборудование, освещение, холодильные установки системы кондиционирования.

Для приема и распределения электроэнергии на территории торгового центра предусматривается комплектная трансформаторная подстанция киоскового типа – 10/0,4кВ.

1 Расчет электрических нагрузок

Для определения расчетной мощности группы электроприемников воспользуемся следующей формулой:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (1.1)$$

где K_c – коэффициент спроса;

P_n – номинальная мощность группы электроприемников, кВт.

По полученному для каждой группы электроприемников значению P_p определяется реактивная нагрузка:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.2)$$

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

Далее найдем полную нагрузку по следующей формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.3)$$

Максимальный расчетный ток рассчитаем по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (1.4)$$

Таблица 1.1 – Расчет нагрузок ВРУ-1

№	Наименование потребителей	Установленная мощность	K_c	Коэффициент реактивной мощности		Потребляемая мощность			Установленный расчетный ток	Максимальный расчетный ток
		P_y , кВт		$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_p = P_y \cdot K_c$, кВт	$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi$, кВт	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$, кВт	$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}} \cdot U$, А	$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}} \cdot U$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ВРУ-1 потребители II категории										
1	Внутреннее освещение	41,0	1	0,92	0,43	41,00	17,63	44,63	62,30	67,81
2	Наружное освещение	7,3	1	0,85	0,62	7,30	4,53	8,60	11,09	13,05

Продолжение таблицы 1.1

3	Бытовые приборы, персональные компьютеры и оргтехника	32,4	0,56	0,97	0,25	18,14	4,54	18,70	49,23	28,42
4	Сантехническое оборудование	13,4	0,67	0,98	0,20	8,98	1,80	9,16	20,36	13,91
5	Вентиляционное оборудование	61,2	0,74	0,90	0,74	45,29	21,74	50,23	92,98	76,32
6	Холодильные установки системы кондиционирования	119,4	0,8	0,81	0,72	95,52	68,77	117,70	181,41	178,83
7	Технологическое оборудование пищеблока	56,8	0,78	0,96	0,29	44,30	12,85	46,13	86,30	70,09

Продолжение таблицы 1.1

ВРУ-1 потребители I категории										
1	Противодымная вентиляция	92,9	1	0,86	0,59	92,90	54,81	107,86	141,15	163,88
2	Аварийное освещение	3,9	1	0,95	0,33	3,90	1,29	4,11	5,93	6,24
3	Лифтовое оборудование	37,6	0,7	0,65	1,17	26,32	30,79	40,51	57,13	61,55
4	Оборудование охранной и пожарной безопасности	6,7	1	0,95	0,33	6,70	2,21	7,06	10,18	10,72
5	КНС	21,9	0,5	0,80	0,75	10,95	8,21	13,96	33,27	20,80
6	Очистные сооружения	2,9	1	0,80	0,75	2,90	2,18	3,63	4,41	5,51
7	Насос ХВС	0,36	1	0,91	0,46	0,36	0,17	0,40	0,55	0,60
8	ИТП	4,9	1	0,95	0,33	4,90	1,62	5,16	7,44	7,84

Продолжение таблицы 1.1

9	ШСН-1	2,0	0,5	0,80	0,75	1,00	0,75	1,25	3,04	1,90
10	ШСН-2	3,0	1	0,95	0,33	3,00	0,99	3,16	4,56	4,80
11	Насос противопожар ный – внутренний	2,9	1	0,85	0,62	2,90	1,80	3,41	4,41	5,18
12	Насос противопожар ный - наружный	10,9	1	0,85	0,62	10,90	6,76	12,82	16,56	19,49
	Итого на ВРУ- 1	507,66	0,82	0,87	0,57	413,46	234,88	482,25	771,33	732,27

Расчетная нагрузка питающих линий при совместном питании силовых электроприемников и освещения в соответствии с п.п.6.28(12) СПЗ1-110-2003 составит:

$$P_{\text{расч}} = K \cdot (P_{\text{ро}} + P_{\text{рс}} + K_1 P_{\text{рхс}}) \quad (1.5)$$

где K – коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников, включая холодильное оборудование и освещение, принимаемый по таблице 6.11;

K_1 – коэффициент, зависящий от отношения расчетной нагрузки освещения к нагрузке холодильного оборудования холодильной станции, принимаемый по примечанию 3 к таблице 6.11;

$P_{\text{ро}}$ – расчетная нагрузка освещения, кВт;

$P_{\text{рс}}$ – расчетная нагрузка силовых электроприемников без холодильных машин систем кондиционирования воздуха, кВт;

$P_{\text{рхс}}$ – расчетная нагрузка систем кондиционирования воздуха холодильного оборудования, кВт.

Из формулы 1.5 получаем:

$$P_{\text{расч}} = 0,85 \cdot 52,2 + 205,1 + 0,5 \cdot 119,4 = 270,4 \text{ кВт}$$

Расчетная мощность для помещений зон торговли принята 10 кВт для одного силового щита.

Таблица 1.2 – Расчет нагрузок ВРУ-2

Наименования потребителей	$P_{уст}$, кВт	K_c	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{расч}$, кВт	$Q_{расч}$, кВт	$S_{расч}$, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8
ЩР-1, ЩС-6шт	50,00	0,90	0,95	0,33	46,00	14,91	48,36
ЩР-3, ЩС-4шт	45,00	0,90	0,95	0,33	39,00	12,64	41,00
ЩР-4, ЩС-4шт	50,00	0,90	0,95	0,33	46,00	14,91	48,36
ЩР-6, ЩС-4шт	45,00	0,90	0,95	0,33	39,00	12,64	41,00
Итого на ВРУ-2	190	0,90	0,95	0,33	170,00	55,10	178,72

Рассчитаем общую расчетную нагрузку в рабочем режиме и режиме «пожар» на торговый центр на РУ-0,4 кВ проектируемой КТП при смешанном питании в соответствии с СП 31-110-2003 по формулам:

$$P_{р.раб.режим} = P_{зд.макс} + K_1 \cdot P_{зд.1}, (1.6)$$

где $P_{зд.макс}$ – наибольшая нагрузка из зданий, кВт;

$P_{зд.1}$ – расчетная нагрузка нежилых помещений, кВт;

K_1 – коэффициент участия нежилых помещений в наибольшей нагрузке

$P_{зд.макс}$, принимаемый по таблице 6.13 СП 31-110-2003.

$$P_{р.режим\ пожар} = P_{зд.макс\ пожар} + K_1 \cdot P_{зд.1}, (1.7)$$

где $P_{зд.макс\ пожар}$ – наибольшая нагрузка при пожаре (из схемы ВРУ), кВт.

По формулам 1.6 и 1.7 получаем:

$$P_{\text{р.раб.режим}} = 270,4 + 0,8 \cdot 170 = 406,4 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{р.режим пожар}} = 309,04 + 0,8 \cdot 170 = 445,04 \text{ кВт}$$

$S_{\text{р.режимпожар}} = 494,49 \text{ кВА}$ условие выполняется по выбору трансформатора K_3
 $= 0,8$.

2 Расчет электрического освещения

Согласно ГОСТ Р 55710-2013 таблицы 21 эксплуатационная освещенность торговых залов равна 300 лк. Произведем расчет для первого этажа торгового зала.

Светотехнический расчет осветительной нагрузки
Высота подвеса светильников над рабочей поверхностью

$$h_n = H - h_p + h_c, \quad (2.1)$$

где H – высота, м. $H = 5$ м;

h_p – высота рабочей поверхности. Принимается равным $h_p = 0,4$ м;

h_c – высота светильника, м. Принимается равным $h_c = 0,1$ м.

$$h_n = 5 - 0,4 + 0,1 = 4,5 \text{ м}$$

Индекс помещения

$$i = \frac{(A \cdot B)}{h_n \cdot (A + B)} \quad (2.2)$$

где A – длина цеха, м. $A = 48$ м;

B – ширина цеха, м. $B = 28$ м.

$$i = \frac{(48 \cdot 28)}{4,5 \cdot (48 + 28)} = 3,9$$

Коэффициент использования светового потока

$$\eta = 0,84.$$

Расстояние между рядами светильников

$$L_p = \lambda \cdot h_n \quad (2.3)$$

где $\lambda=(0,8...1,5)$. Принимаем $\lambda=1$.

$$L_p = 1 \cdot 4,5 = 4,5\text{м}$$

Расстояние от стены до первого ряда светильников

$$L_c = (0,25...0,5) \cdot L_p \quad (2.4)$$

$$L_c = 0,5 \cdot 4,5 = 2,25\text{м}$$

Количество рядов светильников по длине цеха

$$N_a = \frac{A-(2 \cdot L_c)}{L_p} + 1 \quad (2.5)$$

$$N_a = \frac{48 - (2 \cdot 2,25)}{4,5} + 1 = 9\text{шт.}$$

Количество рядов светильников по ширине цеха

$$N_b = \frac{B-(2 \cdot L_c)}{L_p} + 1 \quad (2.6)$$

$$N_b = \frac{28 - (2 \cdot 2,25)}{4,5} + 1 = 5\text{шт.}$$

Количество светильников

$$N = N_a \cdot N_b \quad (2.7)$$

$$N = 9 \cdot 5 = 45\text{шт.}$$

Световой поток одного светильника

$$\Phi = \frac{E_{\text{ном}} \cdot k_3 \cdot A \cdot B \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (2.8)$$

где k_3 – коэффициент запаса. Принимается равным $k_3 = 1,5$;

Z – коэффициент минимальной освещенности. Принимается равным $Z = 1,1$.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 48 \cdot 28 \cdot 1,1}{45 \cdot 0,84} = 6600 \text{ лм} = 6,6 \text{ клм}$$

Выбираем светильник АТ-ССО-42/90 со световым потоком 7,5 клм.

Расчетная норма освещенности

$$E_p = \frac{\Phi_n \cdot E_{\text{ном}}}{\Phi} \quad (2.9)$$

$$E_p = \frac{7,5 \cdot 300}{52,8} = 42,6 \text{ лк}$$

Электрический расчет освещения осветительной нагрузки

Активная мощность осветительной установки

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{л}} \cdot N \cdot k_{\text{и}} \cdot k_{\text{ПРА}}, \quad (2.10)$$

где $P_{\text{л}}$ – номинальная мощность одной лампы, Вт. $P_{\text{л}} = 90$ Вт;

$k_{\text{и}}$ – коэффициент использования. Принимается равным $k_{\text{и}} = \eta = 0,94$;

$k_{\text{ПРА}}$ – коэффициент пускорегулирующей аппаратуры. Принимается равным

$k_{\text{ПРА}} = 1,1$.

$$P_{\text{осв}} = 90 \cdot 15 \cdot 0,84 \cdot 1,1 = 1247,4 \text{ Вт} = 1,25 \text{ кВт}$$

Реактивная мощность осветительной установки

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2.11)$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент мощности. Принимается равным $\operatorname{tg}\varphi = 0,33$.

$$Q_{\text{осв}} = 1,25 \cdot 0,33 = 0,41 \text{ кВар}$$

Полная мощность осветительной установки

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2} \quad (2.12)$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{(1,25^2 + 0,41^2)} = 1,32 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Номинальный ток осветительной установки

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{осв}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (2.13)$$

где $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение осветительной установки. $U_{\text{н}} = 0,22 \text{ кВ}$.

$$I_{\text{ном}} = \frac{1,32}{\sqrt{3} \cdot 0,22} = 3,46 \text{ А}$$

Выбор вводного автоматического выключателя для осветительной сети

$$I_{\text{теп}} = I_{\text{ном}} \cdot 1,15 \quad (2.14)$$

$$I_{\text{теп}} = 3,46 \cdot 1,15 = 3,98 \text{ А}$$

Выбирается автоматический выключатель типа С4 с номинальным током 4 А.

Выбираем провод марки ПВ с медной жилой сечением 1 мм².

Выбор провода на отходящую линию

$$I_{\text{отх}} = \frac{I_{\text{ном}}}{N_b} \quad (2.15)$$

$$I_{\text{отх}} = \frac{3,46}{3} = 1,15 \text{ А}$$

По условию длительно допустимого нагреву тока выбирается провод марки ПВ с медной жилой сечением 0,5 мм² и длительно допустимым током 11 А.

Выбор автоматического выключателя на отходящую линию

$$I_{\text{теп.отх}} = I_{\text{отх}} \cdot 1,15 \quad (2.16)$$

$$I_{\text{теп.отх}} = 1,15 \cdot 1,15 = 1,32 \text{ А}$$

Выбирается автоматический выключатель типа С4 с номинальным током 4 А.

3 Выбор трансформаторов и компенсирующих устройств

3.1 Выбор силовых трансформаторов

Класс напряжения электрических сетей, к которым осуществляется технологическое присоединение – 10/0,4 кВ. Категория надежности здания II.

Для приема и распределения электроэнергии на территории торгового центра предусматривается комплектная трансформаторная подстанция киоскового типа – 10/0,4кВ.

Проведем расчет мощности трансформатора по следующему выражению:

$$S_T = \frac{S_p}{K_3 \cdot N_T} \quad (3.1)$$

Отсюда получаем:

$$S_T = \frac{494,49}{0,8 \cdot 2} = 309,06 \text{ кВА}$$

Предварительно выбираем количество, мощность, марку силовых трансформаторов – 2хТМГ-400/10/0,4. Данные трансформаторы выбраны в соответствии с рассчитанными выше нагрузками и по категории надежности. Также для технико-экономического сравнения возьмем трансформатор на ступень выше по мощности — 2хТМГ-630/10/0,4.

Таблица 3.1 – Характеристики ТМГ-400 и ТМГ-630

Трансформатор	ТМГ-400/10/0,4	ТМГ-630/10/0,4
P_{xx} , кВт	0,74	1
$P_{кз}$, кВт	6	8,2
I_{xx} , %	1	0,5
$U_{кз}$, %	4,5	5,5

Продолжение таблицы 3.1

Количество, шт.	2	2
Стоимость, тыс. руб	300	350

Определим время максимальных потерь по выражению:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_{max}}{10000})^2 \cdot 8760 \quad (3.2)$$

где T_{max} – число часов использования максимума нагрузки, ч. Согласно РД 34.20.185-94 для общественных зданий принимается равным 5400 ч.

Отсюда получаем:

$$\tau = (0,124 + \frac{5400}{10000})^2 \cdot 8760 = 3862 \text{ ч}$$

Годовые потери электроэнергии в одном трансформаторе определим по выражению:

$$\Delta W_{общ} = \Delta P_{xx} \cdot T \cdot n + \Delta P_{кз} \cdot \frac{S_p}{S_H}^2 \cdot \tau \cdot \frac{1}{n} \quad (3.3)$$

где T – годовое время работы трансформатора, ч.

На примере ТМГ-400 получаем следующие потери в двух трансформаторах:

$$\Delta W_{общ} = 0,74 \cdot 8760 \cdot 1 + 6 \cdot \frac{494,49}{400}^2 \cdot 3862 \cdot \frac{1}{2} = 24189 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Результаты расчетов по формуле (3.3) для трансформаторов занесем в таблицу 3.2.

Издержки определяем по формуле:

$$И = \rho \cdot K + c \cdot \Delta W_{\text{общ}} \cdot 10^{-5} = \rho \cdot K + \frac{\alpha}{T_{\text{max}}} + \beta \cdot \Delta W_{\text{общ}} \cdot 10^{-5} \quad (3.4)$$

где ρ – коэффициент отчислений на амортизацию и обслуживание;

c – стоимость 1 кВт/ч потерь, тыс. руб;

α – основная ставка двухставочного тарифа за 1 кВт договорной мощности;

β – дополнительная ставка двухставочного тарифа за каждый кВт·ч активной энергии, учтенной расчетным счетчиком.

K – капиталовложения, тыс. руб.

Производим расчет на примере ТМГ-400:

$$И = 0,093 \cdot 350 + \frac{270}{3500} + 0,9 \cdot 24189 \cdot 10^{-5} = 32,79 \text{ тыс. руб}$$

Далее определим общие затраты для варианта с ТМГ-400 по выражению:

$$З = p_n \cdot K + И \quad (3.5)$$

где p_n – нормативный коэффициент экономической эффективности;

Отсюда получаем:

$$З = 0,12 \cdot 350 + 32,79 = 74,79 \text{ тыс. руб}$$

Расчет затрат трансформатора ТМГ-630 рассчитаем по аналогии с расчетом трансформатора ТМГ-400. Результаты занесем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Техничко-экономическое сравнение ТМГ-400 и ТМГ-630

Трансформатор	ТМГ-400	ТМГ-630
K_3	0,63	0,4
T_{\max} , ч	5400	5400
τ , ч	3862,25	3862,25
$\Delta W_{\text{общ}}$, кВт·ч	62791,41	37828,51
И, тыс. руб	38,52	40,79
$p_n \cdot K$, тыс.руб	42,00	48,00
З, тыс.руб	74,79	82,79

В результате технико-экономического сравнения мы получили, что трансформатор ТМГ-400 является более выгодным, чем ТМГ-630.

3.2 Расчет компенсирующих устройств

Для компенсации реактивной мощности произведем расчет номинальной мощности и ступени регулирования УКРМ.

Проведем расчет реактивной мощности, используя выше рассчитанную активную мощность:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3.6)$$

$$Q_p = 445,04 \cdot 0,48 = 213,62 \text{ квар}$$

Рассчитаем потери активной мощности в трансформаторе:

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \frac{S_{\text{нн}}}{S_T}^2 \quad (3.7)$$

$$\Delta P_T = 0,74 + 6 \cdot \frac{494,8}{400}^2 = 9,92 \text{ кВт}$$

Приближенно рассчитаем потребляемую полную мощность на шинах НН:

$$S_{\text{НН}} = \sqrt{P_{\text{p}}^2 + Q_{\text{p}} - Q_{\text{ку}}^2} \quad (3.8)$$

$$S_{\text{НН}} = \sqrt{445,04^2 + 212,94 - 212,94^2} = 445,04 \text{ кВА}$$

Рассчитаем потери реактивной мощности в трансформаторе:

$$\Delta Q_{\text{T}} = \frac{I_{\text{xx}}}{100} \cdot S_{\text{T}} + \frac{S_{\text{НН}}^2}{100 \cdot S_{\text{T}}} \cdot \sqrt{U_{\text{кз}}^2 - \frac{100 \cdot \Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{T}}}}^2 \quad (3.9)$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = \frac{1}{100} \cdot 400 + \frac{445,04^2}{100 \cdot 400} \cdot \sqrt{4,5^2 - \frac{100 \cdot 6}{400}}^2 = 25 \text{ квар}$$

Рассчитаем минимально допустимую мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{\text{куmin}} = P_{\text{p}} \cdot \text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_{\text{max}} - \Delta P_{\text{T}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{max}} + \Delta Q_{\text{T}} \quad (3.10)$$

$$Q_{\text{куmin}} = 445,04 \cdot 0,48 - 0,1 - 10,3 \cdot 0,1 + 25,86 = 238,35 \text{ квар}$$

Рассчитаем максимально допустимую мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{\text{куmax}} = P_{\text{p}} \cdot \text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_{\text{min}} - \Delta P_{\text{T}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{min}} + \Delta Q_{\text{T}} \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 445,04 \cdot 0,48 - 0 - 10,3 \cdot 0 + 25,86 = 239,5 \text{ квар}$$

Выполним оптимальный подбор УКРМ по выражению:

$$238,35 \leq Q_{\text{куном}} \leq 239,5 \quad (3.12)$$

Из выражения 3.7 принимаем АУКРМ 2х0,4-110-15-5

$$S_{\text{НН}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}} - Q_{\text{ку}}^2} \quad (3.13)$$

$$S_{\text{НН}} = \sqrt{445,04^2 + 212,94 - 220^2} = 445,08 \text{ кВА}$$

Значение $S_{\text{НН}}$ практически не отличается от рассчитанного выше.

Определим потери активной мощности в трансформаторе в режиме минимальных нагрузок, приняв $S_{\text{НН}}=P_{\text{рmin}}$, так как приближенно считаем, что всю реактивную мощность нагрузки компенсирует УКРМ, по формуле:

$$\Delta P_{\text{T}} = \Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \frac{S_{\text{НН}}^2}{S_{\text{T}}^2} \quad (3.14)$$

$$\Delta P_{\text{T}} = 0,74 + 6 \cdot \frac{445,08^2}{400} = 8,17 \text{ кВт}$$

Проведем расчет ступени регулирования УКРМ по формуле:

$$Q_{\text{ку р}} = P_{\text{рmin}} + \Delta P_{\text{T}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{max}} - \text{tg}\varphi_{\text{min}} \quad (3.15)$$

$$Q_{\text{ку р}} = 445,08 + 8,17 \cdot 0,1 - 0 = 445,9 \text{ квар}$$

Выбор ступени регулирования производим, используя выражение:

$$Q_{\text{ку р}} \geq Q_{\text{ку ступ}} \quad (3.16)$$

По каталогу выбираем АУКРМ 0,4-110-10 (шаг регулирования 10 квар).

Данный расчет необходим, поскольку выбор оборудования для компенсации реактивной мощности частично разрешает вопрос энергосбережения, рассматриваемого в данной ВКР объекта.

Компенсация реактивной мощности позволяет повысить коэффициент мощности, следовательно, повышается доля передаваемой активной мощности потребителю. Также это приводит к снижению нагрузки на электрооборудование, поскольку ток снижается.

4 Расчет токов КЗ

4.1 Расчет токов КЗ выше 1 кВ

По ГОСТ Р 52719-2007 получаем мощность трехфазного КЗ сети с $S_c=500$ МВА. По данному ГОСТ расчеты проводятся в о.е. по формулам приближенного приведения. Зададим $U_b=10,5$ кВ, $S_b=1000$ МВА. Для определения ТКЗ составим расчетную схему и схему замещения, представленные на рисунке 4.1.

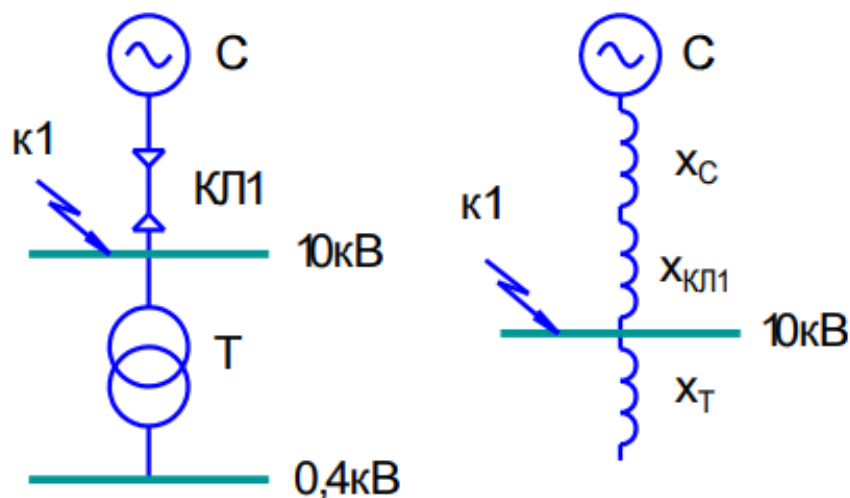


Рисунок 4.1 – Расчетная схема и схема замещения

Рассчитаем ток, протекающий от системы до трансформатора ТМГ-400. Воспользуемся следующим выражением:

$$I = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (4.1)$$

$$I = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ A}$$

Примем кабели с алюминиевыми жилами. Соответственно зная, что $T_{max}=3500$ ч, получаем экономическую плотность тока $J=1,1$ А/мм². Для определения сечения, воспользуемся следующим выражением:

$$S = \frac{I}{j}(4.2)$$

$$S = \frac{22}{1.1} = 20 \text{ мм}^2$$

По полученному расчету округляем данное сечение до 25 мм². Допустимый длительный ток для кабеля 3х25мм² по таблице 1.3.16 получаем 90 А (при работе одного трансформатора I=27 А).

Сопротивления КЛ рассчитаем по выражению:

$$r_{\text{КЛ1}} = \frac{p_{\text{ал}} \cdot l_{\text{КЛ1}}}{S}(4.3)$$

$$r_{\text{КЛ1}} = \frac{0,0315 \cdot 3000}{25} = 3,78 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{КЛ1}} = (0,11451 \lg \frac{2^3 \overline{D_{12} D_{23} D_{31}}}{d} + 0,016) \cdot l_{\text{КЛ1}}(4.4)$$

$$x_{\text{КЛ1}} = 0,11451 \lg \frac{2^3 \overline{100 \cdot 100 \cdot 200}}{\frac{4 \cdot 25}{3,14}} + 0,016 \cdot 3000 = 0,615 \text{ Ом}$$

Переведем сопротивление ВН к ступени НН и получим: r_{КЛ1}=5,486 мОм, x_{КЛ1}=0,892 мОм.

Рассчитаем сопротивление кабельной линии в о.е.:

$$x_{\text{бкл}} = x_{\text{КЛ1}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ВН}}^2}(4.5)$$

$$x_{\text{бкл}} = 0,615 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 5,576 \text{ о.е.}$$

Определим сопротивление системы в о.е. по выражению:

$$x_{\text{бс}} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{с}}}(4.6)$$

$$x_{6c} = \frac{1000}{500} = 2 \text{ о. е.}$$

Определим результирующее сопротивление до точки К1 по выражению:

$$x_{6рез} = x_{6c} + x_{6кл} \quad (4.7)$$

$$x_{6рез} = 2 + 18,588 = 7,576 \text{ о. е.}$$

Рассчитаем базисный ток по выражению:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} \quad (4.8)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,986 \text{ кА}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{n0} = \frac{E_6}{x_{6рез}} \cdot I_6 \quad (4.9)$$

$$I_{n0} = \frac{1}{20,588} \cdot 54,986 = 7257 \text{ кА}$$

По таблице 3 ГОСТ Р 52719-2007 получаем $K_{уд}=1,4$, а по следующей формуле рассчитаем ударный ток.

$$i_{уд} = \sqrt{2} I_{n0} K_{уд} \quad (4.10)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 7257 \cdot 1,4 = 14369 \text{ А}$$

В результате расчетов получаем ударный ток $i_{уд}=14369 \text{ А}$.

Далее необходимо провести расчетов ТКЗ на стороне ниже 1 кВ.

4.2 Расчет токов КЗ ниже 1 кВ

На стороне ниже 1000 В для расчета ТКЗ необходимо учитывать кроме индуктивных сопротивлений так же активные сопротивления элементов системы электроснабжения. На стороне ниже 1000 В выберем расчетные точки КЗ К2, К3, К4. Отметим эти точки на расчетной схеме ТКЗ и схеме замещения представленной на рисунке 4.2.

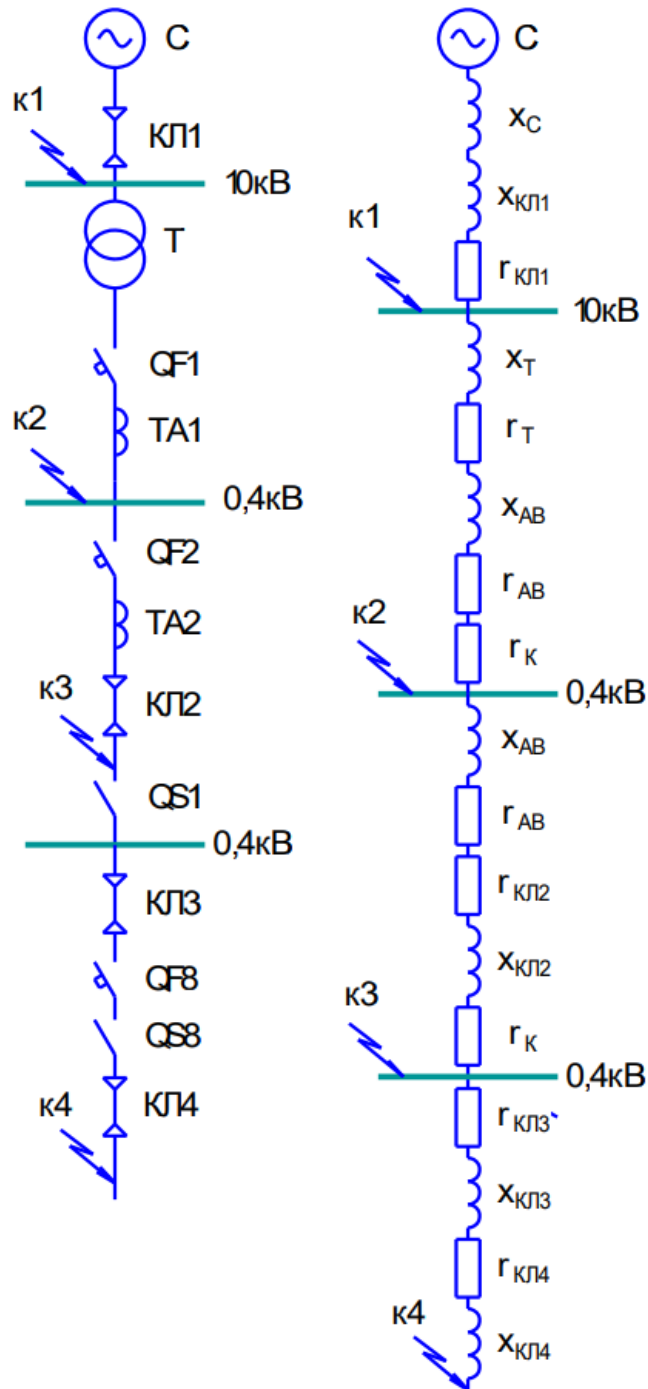


Рисунок 4.2 – Расчетная схема и схема замещения

Расчетная точка К2 выбрана на шинах ТП 10/0,4 кВ со стороны 0,4 кВ.

Выполним расчет ТКЗ согласно методике, представленной в ГОСТ28249-93. По выражению 4.1 выполним расчет номинального тока:

$$I = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0.4} \text{ А}$$

По ГОСТ-28249-93 сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными $r_{кв}=0,41$ мОм, $x_{кв}=0,13$ мОм. По данному ГОСТ п.2.7 активным и индуктивным сопротивлением ТТ можно пренебречь. Активное сопротивление контактов $r_{к}=0,1$ мОм. Сопротивление автоматического выключателя $r_{ав}=0,41$ мОм, $x_{ав}=0,13$ мОм.

Определим сопротивление системы по выражению:

$$x_c = \frac{U_{\text{нн}}^2}{S_c} (4.11)$$

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

Сопротивления ТМГ-400 определим по выражениям:

$$r_T = \frac{P_{\text{кном}} \cdot U_{\text{ннном}}^2}{S_{\text{тном}}^2} \cdot 10^6 (4.12)$$

$$x_T = \sqrt{U_K^2 - \frac{100 \cdot P_{\text{ном}}}{S_{\text{тном}}}} \cdot \frac{U_{\text{ннном}}^2}{S_{\text{тном}}} \cdot 10^4 (4.13)$$

Отсюда получаем:

$$r_T = \frac{6 \cdot 0,4^2}{400^2} \cdot 10^6 = 6 \text{ мОм}$$

$$x_T = \sqrt{4,5^2 - \frac{100 \cdot 6^2}{400} \cdot \frac{10,5^2}{400} \cdot 10^4} = 4,5 \text{ Ом}$$

Проведем расчет общего сопротивления на примере точки К2:

$$r_1 = r_{КЛ1} + r_T + r_K + r_{ав} + r_{ТТ} \quad (4.14)$$

$$x_1 = x_{КЛ1} + x_T + x_{ав} + x_{ТТ} + x_C \quad (4.15)$$

Отсюда получаем:

$$r_1 = 5,486 + 6 + 0,1 + 0,41 + 0 = 11,996 \text{ мОм}$$

$$x_1 = 0,892 + 4,5 + 0,13 + 0 + 0,32 = 5,842 \text{ мОм}$$

Рассчитаем начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ без учета подпитки от электродвигателей по выражению:

$$I_{n0} = \frac{U_{НОМ}}{3 \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}} \quad (4.16)$$

Отсюда получаем:

$$I_{n0} = \frac{0,4}{3 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{19,11^2 + 6,999^2}} = 17310 \text{ А}$$

Определим токи остальных точек КЗ по аналогии и занесем в таблицу.

Рассчитаем угол сдвига по фазе напряжения или ЭДС источника и периодической составляющей тока КЗ:

$$\varphi_K = \operatorname{arctg} \frac{x_1}{r_1} \quad (4.17)$$

$$\varphi_K = \operatorname{arctg} \frac{6,999}{19,11} = 0,453$$

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

$$t_{уд} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi_K}{\pi} \quad (4.18)$$

$$t_{уд} = 0,01 \cdot \frac{\frac{3,14}{2} + 0,085}{3,14} = 6,443 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ:

$$T_a = \frac{x}{r \cdot \omega_c} \quad (4.19)$$

$$T_a = \frac{6,999}{19,11 \cdot 314} = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

где ω_c – синхронная угловая частота напряжения сети, рад/с.

Определим ударный коэффициент по выражению:

$$K_{уд} = 1 + \sin \varphi_K \cdot e^{\frac{-t_{уд}}{T_a}} \quad (4.20)$$

$$K_{уд} = 1 + \sin 0,351 \cdot 2,71^{\frac{-6,443 \cdot 10^{-3}}{1,55 \cdot 10^{-3}}} = 1,007$$

Определим ударный ток по выражению:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 11350 \cdot 1,344 = 24650 \text{ А}$$

Расчет К3:

$$r_1 = r_{\text{КЛ1}} + r_{\text{T}} + 2r_{\text{К}} + 2r_{\text{ав}} + r_{\text{ТТ}} + 4r_{\text{КЛ2}}$$

$$x_1 = x_{\text{КЛ1}} + x_{\text{T}} + 2x_{\text{ав}} + x_{\text{ТТ}} + x_{\text{с}} + 4x_{\text{КЛ2}}$$

$$r_1 = 5,486 + 6 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,41 + 0 + 4 \cdot 0,21 = 13,346 \text{ МОм}$$

$$x_1 = 0,892 + 4,5 + 2 \cdot 0,13 + 0 + 0,32 + 4 \cdot 0,16 = 6,614 \text{ МОм}$$

$$I_{\text{н0}} = \frac{0,4}{3 \cdot 10^{-6} \cdot 19,11^2 + 6,999^2} = 15500 \text{ А}$$

$$\varphi_{\text{К}} = \arctg \frac{6,999}{19,11} = 0,46$$

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{3,14}{2} + 0,085}{3,14} = 6,465 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$T_{\text{а}} = \frac{6,999}{19,11 \cdot 314} = 1,577 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$K_{\text{уд}} = 1 + \sin 0,351 \cdot 2,71 \frac{-6,443 \cdot 10^{-3}}{1,55 \cdot 10^{-3}} = 1,007$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 11350 \cdot 1,344 = 22090 \text{ А}$$

Точка К4 рассчитывается по аналогии с предыдущими.

Таблица 4.1 – Результаты расчетов ТКЗ

№	$U_{\text{срном}}$, кВ	r , МОм	x , МОм	φ	$T_{\text{а}}$, 10^{-3} с	$I_{\text{н0}}$, кА	$K_{\text{уд}}$	$I_{\text{уд}}$, кА
К1	10,5	-	-	-	-	7,257	1,4	14,369
К2	0,4	11,996	5,842	0,453	1,550	17,310	1,007	24,650
К3	0,4	13,346	6,614	0,460	1,577	15,550	1,007	22,090
К4	0,4	14,881	6,772	0,427	1,449	0,260	1,005	0,370

5 Выбор схемы распределительной сети объекта

Выбор схемы зависит от территориального расположения приемников электрической энергии относительно ВРУ, а также относительно друг друга, величины установленной мощности отдельных электроприемников и надежности электроснабжения.

Правильно составленная схема должна обеспечить простоту и удобство эксплуатации; быть экономичной по капитальным затратам на ее сооружение, расходу цветных металлов, эксплуатационным расходам и потерям электроэнергии. Кроме того, схема питания должна допускать применение индустриальных и скоростных методов монтажа.

По назначению осветительные и силовые сети делятся на питающие и распределительные.

Питающей сетью называют линии от встроенных в здание трансформаторных подстанций или КТП, а также от ВРУ здания до групповых щитков освещения и силовых распределительных пунктов, распределительной — линии, идущие от силовых распределительных пунктов, а групповой — линии от групповых щитков освещения до светильников.

Каждую питающую линию, отходящую от главного распределительного щита (ГРЩ) или от ВРУ здания, можно выполнять по схемам радиальной, магистральной и радиально-магистральной (смешанной). При питании от радиальной линии электрическая нагрузка присоединяется только в конце линии в точке питания, а при питании от магистральной линии отдельные нагрузки присоединяются на всем ее протяжении.

Питающие силовые линии преимущественно выполняют по магистральной схеме. Магистральные питающие линии применяют, когда электроприемники небольшой мощности равномерно расположены по всей площади помещения. В этом случае электроприемники в зависимости от их территориального расположения группами присоединяют к силовым

распределительным пунктам, а последние — к линии. На вводе каждого силового пункта устанавливают аппарат управления (рубильник или автомат), отключающий его при аварии или ремонте без нарушения работы остальных пунктов. Так как нагрузка торгового центра равномерно распределена на территории здания, выбираем магистральную схему электроснабжения, выполненную магистральным шинопроводом ШМА, и распределительным шинопроводом ШРА.

6 Выбор оборудования

6.1 Выбор автоматических выключателей

Рассчитаем ток термической стойкости для точки К2 по следующим формулам:

$$B_K = I_{n0}^2 T_a + t_{пво} \quad (6.1)$$

$$B_K = 17,310^2 \cdot 1,55 + 30 \cdot 10^{-3} = 9,588 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\tau = t_{pz} + t_{сво} \quad (6.2)$$

$$\tau = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

где t_{pz} – время срабатывания релейной защиты с;

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с.

Максимальное значение аperiodической составляющей тока КЗ определяется по формуле:

$$i_{a\tau} = \bar{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} \quad (6.3)$$

$$i_{a\tau} = \bar{2} \cdot 17,310 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{1,55}} = 23,703 \text{ кА}$$

Рассчитаем номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{a\text{ном}} = \bar{2} \cdot I_{\text{ном.откл}} \cdot 1 + e^{-22,5r} \quad (6.4)$$

$$i_{a\text{ном}} = \bar{2} \cdot 20 \cdot 1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05} = 37,467 \text{ кА}$$

где $I_{\text{ном.откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА.

Таблица 6.1 – Расчетные и каталожные данные для выключателя

Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 577,35 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$
$I_{\text{н0}} = 17,310 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.откл}} = 20 \text{ кА}$
$i_{\text{ат}} = 23,703 \text{ кА}$	$i_{\text{а.ном}} = 37,467 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} = 24,650 \text{ кА}$	$i_{\text{нрс}} = 25 \text{ кА}$
$B_{\text{К}} = 9,588 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{КВ}} = 10 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблица 6.2 – Выбор автоматических выключателей на ВРУ-1 и ВРУ-2

Потребитель	АВ
ЩО1.1	3рС40А
ЩО1.2	3рС40А
ЩО1.3	3рС32А
ЩО2.1	В40
ЩО2.2	В40
ЩО2.3	В40
ЩО3.1	В40
ШНО	3рС40А
ЩВ1.1	3рС63А
ЩВ2.1	3рС25А
ЩВ3.2	3рС80А
ЩВ3.3	В63
ЩК3.2	3рС100А
ЩК2.1	В40
ЩК3.1	В100
ЩК3.3	В100

Продолжение таблицы 6.2

ЩР1.1	3pC40A
ЩР2.1	3pC25A
ЩР3.1	3pC25A
ПД1	3pC32A
ПД2	3pC32A
ПД3	3pC32A
ПД4	3pC40A
ПД5	3pC32A
ПД6	3pC32A
ПД7	3pC25A
ПД8	3pC40A
ПД9	3pC32A
ПД1 лифт	3pC25A
ПД1 ЗБ	3pC32A
ВД1	3pC50A
ВД2	3pC40A
ВД3	3pC32A
ВД4	3pC50A
ВД5	3pC32A
ВД6	3pC50A
ВД7	3pC40A
ВД8	3pC32A
ВД9	3pC32A
ВД10	3pC40A
ВД11	3pC40A
ЩАО1.1	3pC40A
ЩАО2.1	3pC25A
ЩАО3.1	3pC25A
ШУЛ1	3pC80A

Продолжение таблицы 6.2

ШУЛ2	3pC80A
ШУЛ3	3pC80A
ШУЛ4	3pC80A
ЩРСерв	3pC25A
ЩПС	3pC40A
ЩОС	3pC40A
КНС	3pC63A
БУ-Оч.Волна	3pC63A
Насос ХВС	3pC25A
ИТП	3pC40A
ШСН-1	3pC32A
ШСН-2	3pC25A

6.2 Выбор трансформаторов тока

Трансформаторы тока выбираются по следующим параметрам:

- 1) номинальному напряжению ($U_{номq} \leq U_{сет.номq}$);
- 2) номинальному рабочему току ($I_{номq} \leq I_{ном1q}$);
- 3) электродинамической стойкости ($i_{удq} \leq I_{эдн}$);
- 4) термической стойкости ($B_{кq} \leq B_{крq}$);
- 5) конструкции и классу точности;
- 6) вторичной нагрузке ($Z_2 \leq Z_{ном2}$).

Таблица 6.3 – Расчетные и каталожные данные для ТШЛ-СЭЩ-0,66-02

Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_{max} = 577,35 \text{ А}$	$I_{ном} = 600 \text{ А}$
$i_{уд} = 24,650 \text{ кА}$	$i_{нрс} = 50 \text{ кА}$
$B_K = 9,588 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{КВ} = 10 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

В качестве трансформатора тока на КТП установлены ТШЛ-СЭЩ-0,66-02 со параметрами, приведенными в таблице 5.4.

Таблица 6.4 – Параметры ТШЛ-СЭЩ-0,66-02

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальный первичный ток, А	600
Наибольший рабочий первичный ток, А	630
Номинальный вторичный ток, А	5
Номинальная вторичная нагрузка, При $\cos\varphi=0,8$ ВА	20
Класс точности	0,2

Составим таблицу вторичной нагрузки трансформатора тока.

Таблица 6.5 – Вторичная нагрузка трансформатора тока ТШЛ-СЭЩ-0,66-02

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Амперметр	Э-335	0,5	-	-
Ваттметр	Д-335	0,5	-	0,5
Варметр				
Счетчики активной энергии	СА3-И670	2,5	-	-
Итого		3,5	-	0,5

По таблице 5.5 наибольшая нагрузка приходится на трансформатор фазы А. Общее сопротивление приборов фазы А:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{\text{ном2}}^2} \quad (6.5)$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами, ВА;

$I_{\text{НОМ2}}$ – вторичный ток трансформатора тока.

Отсюда получаем:

$$R_{\text{приб}} = \frac{3,5}{5^2} = 0,14 \text{ Ом.}$$

Номинальное полное сопротивление нагрузки рассчитывается по каталожным данным по формуле:

$$Z_{\text{НОМ2}} = \frac{S_{\text{НОМ2}}}{I_{\text{НОМ2}}^2} \quad (6.6)$$

где $S_{\text{НОМ2}}$ – номинальная вторичная нагрузка трансформатора, выраженная через полную мощность, которая берется из каталога, ВА;

Отсюда получаем:

$$Z_{\text{НОМ2}} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}$$

Рассчитаем сопротивление проводов:

$R_{\text{пр}} = Z_{\text{НОМ2}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}} \quad (6.7)$ где $R_{\text{к}}=0,1$ – переходное сопротивление контактов, Ом.

Отсюда получаем:

$$R_{\text{пр}} = 0,8 - 0,14 - 0,1 = 0,56 \text{ Ом.}$$

Длину проводов примем 0,5 м. Тогда для неполной звезды получаем расчетную длину 0,87 м. Рассчитаем сечение проводов по следующей формуле:

$$S = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{пр}} (6.8)$$

где $\rho=0,027$ – удельное сопротивление алюминиевых соединительных проводов, Ом·мм² /м.

Отсюда получаем:

$$S = \frac{0,027 \cdot 0,5}{0,56} = 0,024 \text{ мм}^2$$

В результате принимаем стандартное сечение 4 мм².

6.3 Выбор разъединителей

Разъединители выбираются по следующим параметрам:

- 1) номинальному напряжению ($U_{ном} \leq U_{сет.ном}$);
- 2) номинальному току ($I_{мах} \leq I_{ном}$);
- 3) электродинамической стойкости ($i_{уд} \leq i_{прс}$);
- 4) термической стойкости ($B_K \leq B_{кр}$);

Поскольку $I_{ном}=557$ А, который протекает от КТП до ВРУ-1, то выберем разъединитель на QS-1 и QS-2 на 630 А. По термической и электродинамической стойкости расчет проводится по аналогии с расчетом автоматических выключателей:

$$B_K = 17,310^2 \cdot 1,55 + 30 \cdot 10^{-3} = 9,588 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$I = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577 \text{ А}$$

Остальные разъединители выберем по аналогии и покажем их на схеме ВРУ-1.

Таблица 6.5 – Данные для рубильника трехполюсного Р36

Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 577,35 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 24,650 \text{ кА}$	$i_{\text{нрс}} = 40 \text{ кА}$
$B_K = 9,588 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{KВ} = 256 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

6.4 Выбор кабелей

Исходя из значения номинально тока полученного в выражении 4.1 на стороне 10 кВ принимаем кабель марки АВБбШв 3х25. Данный кабель имеет алюминиевые токопроводящие жилы, заключенные в поливинилхлоридную изоляцию, имеет стальную броню. Кабель снабжен защитным кожухом извыпрессованного материала ПВХ с добавлением вязкой клеевой смеси и битума.

По аналогии с вышеприведенными расчетами, выберем по 4 кабеля для прокладки на ВРУ-1 и ВРУ-2 АПвВнг(А)-LS 3х150, который имеют алюминиевые токопроводящие жилы, изоляцию жил из сшитого полиэтилена, изоляцию жил и оболочку из поливинилхлоридного пластика пониженной горючести с пониженным газодымовыделением, с категорией по исполнению в части показателей пожарной безопасности А. Исполнение нг(А)-LS выбрано согласно ГОСТ 31565-2012.

Необходимо, чтобы кабели выдерживали, помимо нагрузок потребителей, также и объем горючей нагрузки и сохраняли работоспособность в условиях пожара, поэтому, согласно таблице 2 ГОСТ 31565-2012 принимается кабели с типом исполнения нг(А)-FRHF. Для прокладки кабелей внутри помещений выберем кабель марки ППГнг(А)-FRHF. Данный кабель имеет медные токопроводящие жилы, изоляцию жил и оболочку из полимерных композиций с отсутствием галогенов (HF), без

защитного покрова, не поддерживающий горения, огнестойкий, поскольку имеет термический барьер из слюдосодержащих лент.

Остальные кабели для прокладки внутри помещения к электроприемникам также выбраны марки ППГнг(А)-FRHF.

Выбор автомата проведем по мощности нагрузки и сечению провода, согласно методике.

Таблица 6.7 – Выбор кабелей на ВРУ-1 и ВРУ-2

Потребитель	Длина	P_y	I_p	$S_p, \text{мм}^2$	$S, \text{мм}^2$	Марка
1	2	3	4	5	6	7
ЩО1.1	30	5,8	9,10	4,33	5x6	АПВВнг(А)-LS
ЩО1.2	40	5,8	9,10	4,33	5x6	АПВВнг(А)-LS
ЩО1.3	80	5,2	8,16	3,88	5x4	АПВВнг(А)-LS
ЩО2.1	50	7,3	11,45	5,45	5x6	АПВВнг(А)-LS
ЩО2.2	50	5,6	8,79	4,18	5x6	АПВВнг(А)-LS
ЩО2.3	30	6,1	9,57	4,56	5x6	АПВВнг(А)-LS
ЩО3.1	60	5,8	9,10	4,33	5x6	АПВВнг(А)-LS
ШНО	70	7,4	12,57	5,98	5x6	АПВВнг(А)-LS
ЩВ1.1	30	16,7	26,78	12,75	5x16	АПВВнг(А)-LS
ЩВ2.1	40	0,9	1,44	0,69	5x2,5	АПВВнг(А)-LS
ЩВ3.2	80	24,3	38,97	18,56	5x25	АПВВнг(А)-LS
ЩВ3.3	30	19,7	31,59	15,04	5x16	АПВВнг(А)-LS
ЩК3.2	70	39,5	70,39	33,52	5x35	АПВВнг(А)-LS
ЩК2.1	60	6,4	11,40	5,43	5x6	АПВВнг(А)-LS

Продолжение таблицы 6.7

ЩКЗ.1	40	40,3	71,81	34,20	5x35	АПВВНГ(А)-LS
ЩКЗ.3	6	33,6	59,87	28,51	5x35	АПВВНГ(А)-LS
ЩР1.1	15	7,3	10,98	5,23	5x6	АПВВНГ(А)-LS
ЩР2.1	30	3	4,51	2,15	5x2,5	АПВВНГ(А)-LS
ЩР3.1	40	3	4,51	2,15	5x2,5	АПВВНГ(А)-LS
ПД1	-	4	7,20	3,99	5x4	АПВВНГ(А)-LS
ПД2	-	4	7,20	3,99	5x4	АПВВНГ(А)-LS
ПД3	-	3	5,40	2,99	5x4	АПВВНГ(А)-LS
ПД4	-	5,5	9,80	5,43	5x6	АПВВНГ(А)-LS
ПД5	-	3	5,40	2,99	5x4	АПВВНГ(А)-LS
ПД6	-	4	7,20	3,99	5x4	АПВВНГ(А)-LS
ПД7	-	1,5	2,60	1,44	5x2,5	АПВВНГ(А)-LS
ПД8	-	5,5	9,80	5,43	5x6	АПВВНГ(А)-LS
ПД9	-	3	5,40	2,99	5x4	АПВВНГ(А)-LS
ПД1 лифт	-	1,1	1,80	1,00	5x2,5	АПВВНГ(А)-LS
ПД1 ЗБ	-	4	6,80	3,77	5x4	АПВВНГ(А)-LS
ВД1	-	7,5	13,40	7,42	5x10	АПВВНГ(А)-LS
ВД2	-	5,5	9,80	5,43	5x6	АПВВНГ(А)-LS
ВД3	-	3	5,30	2,93	5x4	АПВВНГ(А)-LS
ВД4	-	7,5	13,40	7,42	5x10	АПВВНГ(А)-LS
ВД5	-	3	5,30	2,93	5x4	АПВВНГ(А)-LS

Продолжение таблицы 6.7

ВД6	-	7,5	13,40	7,42	5x10	АПВВНГ(А)-LS
ВД7	-	5,5	9,8	5,43	5x6	АПВВНГ(А)-LS
ВД8	-	3	5,30	2,93	5x4	АПВВНГ(А)-LS
ВД9	-	3	5,30	2,93	5x4	АПВВНГ(А)-LS
ВД10	-	5,5	9,80	5,43	5x6	АПВВНГ(А)-LS
ВД11	-	5,5	9,80	5,43	5x6	АПВВНГ(А)-LS
ЩАО1.1	15	2,4	9,80	4,91	5x6	АПВВНГ(А)-LS
ЩАО2.1	30	0,7	1,10	0,55	5x2,5	АПВВНГ(А)-LS
ЩАО3.1	40	1,1	1,70	0,85	5x2,5	АПВВНГ(А)-LS
ШУЛ1	74	9,5	22,20	16,26	5x25	АПВВНГ(А)-LS
ШУЛ2	72	9,5	22,20	16,26	5x25	АПВВНГ(А)-LS
ШУЛ3	62	9,5	22,20	16,26	5x25	АПВВНГ(А)-LS
ШУЛ4	63	9,5	22,20	16,26	5x25	АПВВНГ(А)-LS
ЩРСерв	77	3	4,33	2,17	5x2,5	АПВВНГ(А)-LS
ЩПС	30	2	9,50	4,76	3x6	АПВВНГ(А)-LS
ЩОС	30	2	9,50	4,76	3x6	АПВВНГ(А)-LS
КНС	10	11	20,80	12,38	5x15	АПВВНГ(А)-LS
БУ- Оч.Волна	10	3	17,50	10,42	3x15	АПВВНГ(А)-LS
Насос ХВС	40	0,37	0,62	0,32	3x2,5	АПВВНГ(А)-LS

Продолжение таблицы 6.7

ИТП	40	5	8,20	4,11	5x6	АПВВнг(А)-LS
ШСН-1	10	2,1	4,90	2,92	5x4	АПВВнг(А)-LS
ШСН-2	140	3,1	4,90	2,46	5x2,5	АПВВнг(А)-LS

7 Расчет сопротивления заземляющего устройства и молниезащита

Сопротивление вертикального электрода:

$$R_{\text{верт}} = \frac{\rho_{\text{экв}}}{2\pi L} \ln \frac{2L}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4T+L}{4T-L} \quad (7.1)$$
$$R_{\text{верт}} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \ln \frac{2 \cdot 3}{0,018} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} = 32,8 \text{ Ом}$$

где ρ – эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

L – длина вертикального электрода, м;

d – диаметр вертикального электрода, м;

T – заглубление – расстояние от поверхности земли до заземлителя, м.

Сопротивление горизонтального электрода:

$$R_{\text{гор}} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{гор}}} \cdot \ln \frac{2L_{\text{гор}}^2}{bh}$$
$$R_{\text{гор}} = \frac{100}{2\pi \cdot 336} \cdot \ln \frac{2 \cdot 336^2}{0,05 \cdot 0,5} = 0,76 \text{ Ом}$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

b – ширина полосы горизонтального электрода, м;

h – глубина заложения горизонтальной сетки, м;

$L_{\text{гор}}$ – длина горизонтального электрода, м.

Полное сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{\text{зу}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{\text{исп}i} R_i}}$$

где n – количество комплектов;

$k_{исп}$ – коэффициент использования.

$$R_{зу} = \frac{1}{\frac{25 \cdot 0,69}{32,8} + \frac{1 \cdot 0,69}{0,76}} = 0,7 \text{ Ом}$$

Расчетное сопротивление заземляющего устройства составляет 0,7 Ом.

Тип системы заземления на вводе в здание – TN-C-S. Тип системы заземления в распределительных и групповых сетях – TN-S.

Разделение PEN проводника на N и PE выполнено в щите ВРУ.

Все металлические нетоковедущие части электрооборудования (каркасы щитов, стальные трубы электропроводки, металлические кабельные лотки и т.п.) подлежат заземлению путем металлического соединения с заземляющим проводом сети. В качестве защитных проводников используются жилы многожильных кабелей (PEN и PE-проводники кабелей питающей и распределительной сети). В технологических помещениях (тепловой пункт, доготовочная, электрощитовая, лифтовые шахты) устроить контуры защитного заземления из металлической полосы 25x4 на высоте 400мм от уровня пола. Контуры помещения доготовочной присоединить к ГЗШ технологического щита медным проводником сечением 25 кв.мм, а остальные помещения к внешнему контуру заземления стальной полосой 5x40мм. В соответствии с «Инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО 153-34.21.122-2003 здание торгового центра относится к обычным объектам по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения (к III категории по устройству молниезащиты). Кровля здания плоская. В качестве молниеприемника применить молниеприемную сетку из полосовой стали 25x4, расположенной на кровле. Молниеприемную сетку уложить под слоем негорючего утеплителя и гидроизоляции. Шаг ячеек сетки не должен превышать 10x10м

(СП 31.110-2003, таблица 3.8). Узлы сетки соединить сваркой. Стальные полосы сетки должны проходить по краю крыши. Сетку выполнить таким образом, чтобы ток молнии имел всегда, по крайней мере, два различных пути к заземлителю. Никакие металлические части не должны выступать за внешние контуры сетки. Выступающие над крышей металлические элементы (трубы, венткороба, антенны, рекламные щиты и т.д.) подлежат присоединению к металлической молниеприемной сетке. Токоотводы от молниеприемной сетки до наружного контура заземления выполнить из полосовой стали 5x20 мм и проложить равномерно по периметру наружных стен под фасадом с шагом не более 20м. Рекомендуется размещать токоотводы на максимально возможных расстояниях от дверей и окон. Токоотводы прокладываются по прямым вертикальным линиям, так чтобы путь до земли был по возможности кратчайшим. В качестве заземляющего устройства используются искусственные заземлители: вертикальный (сталь круглая диаметром 18 мм, длина 3 м) и горизонтальный (полоса стальная 5x40 мм).

Сопrotивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

Комплекс мероприятий по обеспечению необходимых требований к наружному заземляющему устройству торгового центра представлен следующими решениями:

- В местах опусков токоотводов, выполняется установка 25 электродов заземления длиной 3м, диаметром 18мм;
- Расстояние между электродами не более 20м. Электроды соединяются с объектом стальной полосой 5x40мм;
- Глубина заложения полосы 0.5-0.7 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной ВКР спроектирована система электрооборудования и электрохозяйства торгового центра.

При проектировании первым шагом был расчет электрических нагрузок торгового центра. Электроприемники были разделены на соответствующие группы, которые подключались к щитам, приведенные в таблице 1.1. К данным щитам выбраны соответствующие кабели и автоматы, приведенные в таблице 5.6. Далее по рассчитанным нагрузкам была проведена компенсация реактивной мощности с использованием УКРМ, для повышения коэффициента мощности, а также для снижения затрат на электрооборудование торгового центра, которое было рассчитано в последующих пунктах. Получив итоговые нагрузки, был проведен выбор трансформаторов. Для приема и распределения электроэнергии на территории торгового центра была принята комплектная трансформаторная подстанция киоскового типа – 10/0,4кВ с двумя трансформаторами ТМГ-400. Затем был проведен расчет токов короткого замыкания, который был определяющим для выбора электрооборудования, которое обеспечивает надежность электроснабжения, электробезопасность, а также пожарную безопасность торгового центра. Выбранное электрооборудование рассмотрено в пункте 5. Была проведена проверка выключателей, установленных на КТП, были проверены трансформаторы тока, проведена расчетная проверка разъединителей, а также выбраны кабели и соответствующие автоматы, относящиеся к каждому щиту, к которым подключаются электроприемники. Проведен расчет заземления и молниезащиты общественного здания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РФ. Госстрой России. СП31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий : утв. приказом №194 от 26.10.2013. М., 2003. 55 с.
2. РФ. Стандартиформ. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий : утв. приказом №1364-ст от 08.11.2013. М., 2013. 20 с.
3. Gonen T. Electric Power Distribution System Engineering, 2nd Edition. Boca Raton : CRC Press, 2007. 856 p.
4. Sheldrake A.L. Handbook of Electrical Engineering. Hoboken : Wiley, 2003. P. 131.
5. Winders J.J. Power Transformers: Principles and Applications. New York : Marcel Dekker, 2002. 286 p.
6. Brown R.E. Electric Power Distribution Reliability (Power Engineering (Willis)), 2nd Edition. Boca Raton : CRC Press, 2008. 504 p.
7. РФ. Энергоатомиздат. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей : утв. приказом №213 от 07.07.1994. М., 1994, 49 с.
8. Компенсация реактивной мощности: расчет мощности и выбор ступени регулирования конденсаторной батареи [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2018. URL: <http://blog.avralsoft.ru/kompensatsiya-reaktivnoy-moshhnosti-raschet-moshhnosti-i-vyibor-stupeni-regulirovaniya-kondensatornoy-batarei.html> (дата обращения: 22.04.2019).
9. Приказ Министерства промышленности и энергетики РФ от 23 июня 2015 г. № 380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии».

10. РФ. Стандартиформ. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия : утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. М., 2007. 45 с.

11. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.

12. Активные и индуктивные сопротивления линии [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2018. URL:

https://www.websor.ru/aktivnj_i_induktivnje_soprotivleniya.html (дата обращения: 22.04.2019).

13. РФ. Издательство стандартов. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ : утв. приказом от 21.10.1993. М., 1994. 66 с.

14. РФ. Стандартиформ. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности : утв. приказом №1097-ст от 22.11.2012. М., 2012. 12 с.

15. Выбор автомата по мощности нагрузки и сечению провода [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2018. URL:

<https://volgaproekt.ru/stati/vybor-avtomata-po-moshchnosti-nagruzki.html> (дата обращения: 22.04.2019).

16. РФ. Минэнерго России. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций : утв. приказом №280 от 30.06.2003. М., 2003. 29 с.

17. РФ. Стандартиформ. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях: утв. приказом №191-ст от 12.07.2012. М., 2011. 15 с.

18. РФ. Госстрой России. СНиП 2.04.05-91*. Отопление, вентиляции и кондиционирование : утв. приказом №18-11 от 15.05.1997. М., 1999. 71 с.

19. РФ. Минрегион России. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий: утв. приказом №265 от 30.06.2012. М., 2012. 139 с.

20. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications, 4th Edition. London : Newnes, 2013. 440 p.

21. Антонов С.Н. Проектирование электроэнергетических систем : учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.

22. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 127 с.