

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 административно-торгового здания

Обучающийся

Е.С. Кузнецова

(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

Темой ВКР является «Электроснабжение административно-торгового здания».

В работе рассчитаны электрические нагрузки:

- насосов водоснабжения и пожаротушения;
- офисных помещений и оргтехники;
- оборудования системы вентиляции;
- холодильных агрегатов (пищеблок) и систем кондиционирования;
- систем сигнализации и автоматики административно-торгового здания;
- внутреннего освещения (рабочего и аварийного);
- наружного освещения (освещение парковки и близлежащих площадок).

Расчет нагрузок позволил выбрать соответствующие силовые трансформаторы и компенсирующие устройства.

После выбора силовых трансформаторов, были вычислены токи короткого замыкания (ТКЗ).

Рассчитанные ТКЗ, термическая и электродинамическая стойкости позволили выбрать электрооборудование КТП. Затем был проведен расчет и выбор кабельных линий.

Заключительным этапом ВКР является расчет заземляющего контура административно-торгового здания.

ВКР содержит 44 страницы, 8 таблиц, 11 рисунков, шесть чертежей, выполненных на форматах листа А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	5
2 Расчет электрических нагрузок	7
3 Расчет освещения	14
4 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	20
5 Расчет токов короткого замыкания	24
6 Выбор основного оборудования и его проверка.....	30
7 Расчет заземляющего устройства	38
Заключение	41
Список используемых источников.....	42

Введение

Стремительно развивающийся уровень жизни потребителей увеличивает спрос на возведение новых торговых развлекательных комплексов и административных зданий, и сооружений. Всё это связано с тем, что высокий уровень жизни и благосостояния населения создает предпосылки для покупки новых товаров.

Многие фирмы по оказанию разного рода услуг для снижения издержек на рекламу и аренду помещений, всё чаще прибегают к аренде торговых площадей, поскольку общественные здания проводят через себя большой поток людей. Многие здания имеют совместно с торговыми площадями офисные помещения, что позволяет повысить степень использования крупных зданий. Поэтому, строительство административно-торговых зданий становится с каждым годом всё более актуальным

Актуальность темы ВКР обусловлена тем, что для административно-торговых зданий и сооружений важно обеспечить надежное и безопасное электроснабжение, поскольку здание является общественным.

Целью ВКР является проектирование надежной и эффективной схемы электроснабжения административно-торгового здания.

Задачами данной работы являются:

- Провести расчет электрических нагрузок оборудования административно-торгового здания, освещения;
- Выбрать соответствующие силовые трансформаторы для электроснабжения административно-торгового здания, освещения;
- Рассчитать токи короткого замыкания (ТКЗ);
- Используя результаты расчетов ТКЗ, термической и электродинамической стойкости выбрать электрооборудование КТП;
- Выбрать кабельные линии и автоматические выключатели;
- Рассчитать заземление и молниезащиту в соответствии с требованиями правил нормативных документов.

1 Анализ исходных данных

Крупную долю потребления электроэнергии общественного здания составляют в основном электроприемники – электропривода систем кондиционирования и холодильных агрегатов, а также насосов водоснабжения, которые являются потребителями трехфазного переменного тока.

При увеличении расстояния, растет электрическое сопротивление проводов, и растут потери на их нагрев. Соответственно, чтобы уменьшить потери либо уменьшаем сопротивление проводников, либо увеличиваем передаваемое напряжение.

Для внутренних распределительных сетей, согласно ГОСТ 29322-2014 наибольшее применение получило напряжение 400/230 В, основным преимуществом которого является возможность совместного питания силовых и осветительных электроприемников, причём от сети 400 В будет питаться силовая нагрузка, а от сети 230 В будет питаться осветительная нагрузка. Теперь разберем электроприемники здания по сферам.

К сферам потребления электрической энергии административно-торгового здания относят:

- Освещение;
- Насосное оборудование и оборудование ИТП;
- Оборудование холодильной установки и системы кондиционирования;
- Лифты;
- Оборудование системы вентиляции и дымоудаления;
- Насосы пожаротушения и водоснабжения здания.

Для электроснабжения предприятия необходимо использование двух трансформаторов, поскольку большинство электроприемников относится к первой и второй категории надежности (таблица 1).

Таблица 1 – Категории надежности электроприемников

Потребитель	Способ электроснабжения	Категория надежности группы электроприемников
Аварийное освещение	Питание от сети, автономное питание	I
Система пожаротушения (в том числе насосы КНС) и охранная сигнализация, автоматика		I
Противодымная вентиляция		I
Оборудование лифтов		I
Рабочее освещение	Питание от сети, автономное питание не предусмотрено	II
Наружное освещение		II
Система отопления и водоснабжения		I, II
Оборудование системы вентиляции		I, II
Система кондиционирования и холодильные камеры (шкафы)		II
Помещения обслуживающего персонала		III
Распределительные сети		II, III

Вывод по разделу.

Электродвигательная нагрузка включена в нагрузку холодильных агрегатов и системы кондиционирования, а также вентиляционного оборудования, системы пожаротушения и водоснабжения.

Крупная доля электроприемников относится к I и II категориям надежности, следовательно, предполагается установка двухтрансформаторной подстанции для электроснабжения здания.

Что касается распределительных сетей, то электроприемники запитаны от напряжения 0,4 кВ.

2 Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок проведем с помощью СП 31-110-2003.

«Групповая установленная активная мощность:

$$P_{уст} = n \cdot P_n, \quad (1)$$

где n – число электроприемников;

P_n – номинальная мощность одного ЭП, кВт» [13].

Коэффициенты использования электрооборудования примем на основании фактического времени работы за смену. Для электроприемников первой категории надежности примем коэффициент использования равным 1.

Коэффициенты мощности приняты на основании паспортов силового электрооборудования.

«Расчетная нагрузка:

$$P_p = K_c \cdot P_{н\Sigma} \quad (2)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (4)$$

где K_c – коэффициент спроса;

$\operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности» [13].

Максимальный расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{U \cdot \sqrt{3}} \quad (5)$$

Расчет нагрузок представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет нагрузок административно-торгового здания

Щит	Наименование	P_n кВт	n	$P_{н\Sigma}$ кВт	K_c	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p кВт	Q_p квар	S_p кВ·А	I_p А
ЩО	Внутреннее освещение		7	41,5	0,9	0,85	0,52	37,16	22,74	43,57	62,89
1.1-1.3	Первый этаж	5,6	3	16,8	0,9	0,89	0,51	15,12	7,71	16,97	24,49
2.1-2.3	Второй этаж	6,3	3	18,9	0,89	0,83	0,67	16,82	11,27	20,25	29,23
3.1	Третий этаж	5,8	1	5,8	0,9	0,81	0,72	5,22	3,76	6,43	9,28
ШНО	Уличное освещение		1	7,4	1	0,8	0,75	7,4	5,55	9,25	13,35
–	Парковка и архитектурная подсветка	7,4	1	7,4	1	0,8	0,75	7,4	5,55	9,25	13,35
ЩС	Потребители офисных помещений		7	32,5	0,52	0,87	0,49	17,06	9,5	19,53	28,19
1.1-1.3	Первый этаж	4	3	12	0,55	0,89	0,51	6,6	3,37	7,41	10,7
2.1-2.3	Второй этаж	3,5	3	10,5	0,52	0,89	0,51	5,46	2,78	6,13	8,85
3.1	Третий этаж	10	1	10	0,5	0,83	0,67	5	3,35	6,02	8,69

Продолжение таблицы 2

Щит	Наименование	P_n кВт	n	$P_{н\Sigma}$ кВт	K_c	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p кВт	Q_p квар	S_p кВ·А	I_p А
ЩСН	Сантехника		3	13,5	0,84	0,85	0,62	11,34	7,03	13,34	19,25
1-3	Циркуляционный насос	4,5	3	13,5	0,84	0,85	0,62	11,34	7,03	13,34	19,25
ЩВ	Вентсистема		5	78	0,91	0,89	0,45	70,68	35,54	79,11	114,19
1.1	Электродвигатели первого этажа приточно-вытяжной вентиляции	12	1	12	0,9	0,86	0,59	10,8	6,37	12,54	18,1
2.1	Электродвигатели второго этажа приточно-вытяжной вентиляции	12	1	12	0,85	0,85	0,62	10,2	6,32	12	17,32
3.2-3.3	Электродвигатели третьего этажа приточно-вытяжной вентиляции	18	3	54	0,92	0,91	0,46	49,68	22,85	54,68	78,92

Продолжение таблицы 2

Щит	Наименование	P_n кВт	n	$P_{н\Sigma}$ кВт	K_c	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p кВт	Q_p квар	S_p кВ·А	I_p А
ЩК	Установки системы кондиционирования и холодильные машины		5	146	0,76	0,86	0,51	111,4	66,24	129,61	187,08
2.1	Холодильная машина второго этажа	6	1	6	0,6	0,6	1,33	3,6	4,79	5,99	8,65
3.1-3.3	Холодильная машина третьего этажа	35	4	140	0,77	0,87	0,57	107,8	61,45	124,08	179,09
ЩР	Пищеблок		9	57	0,74	0,93	0,36	42,3	16,41	45,37	65,49
ТХ	Оборудование пищеприготовления	9	5	45	0,78	0,93	0,4	35,1	14,04	37,8	54,56
1.1	Оборудование доготовки первого этажа	3	2	6	0,8	0,95	0,33	4,8	1,58	5,05	7,29
2.1	Оборудование доготовки второго этажа	3	1	3	0,8	0,95	0,33	2,4	0,79	2,53	3,65
3.1	Оборудование доготовки третьего этажа	3	1	3	0,8	0,95	0,33	2,4	0,79	2,53	3,65

Продолжение таблицы 2

Щит	Наименование	P_n кВт	n	$P_{н\Sigma}$ кВт	K_c	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p кВт	Q_p квар	S_p кВ·А	I_p А
ПД, ВД	Вентиляция дымоудаления		22	93,5	1	0,93	0,37	77	30,49	82,82	119,54
1-9, лифт, 3Б	Приточная вентиляция	4,5	11	49,5	0,8	0,92	0,43	39,6	17,03	43,11	62,22
1-11	Вытяжная вентиляция	4	11	44	0,85	0,94	0,36	37,4	13,46	39,75	57,37
ЩАО	Аварийное освещение		3	4,4	1	0,95	0,31	4,4	1,46	4,64	6,7
1.1	Первый этаж	2,5	1	2,5	1	0,95	0,33	2,5	0,83	2,63	3,8
2.1	Второй этаж	0,7	1	0,7	1	0,95	0,33	0,7	0,23	0,74	1,07
3.1	Третий этаж	1,2	1	1,2	1	0,95	0,33	1,2	0,4	1,26	1,82
ШСН	Силовое наружное электрооборудование		9	59,6	0,69	0,88	0,47	41,28	22,13	46,84	67,61
ИТП	Оборудование ИТП	9,5	4	38	0,75	0,89	0,51	28,5	14,54	31,99	46,17
1,2	Насосы пожаротушения	7,5	2	15	0,5	0,88	0,54	7,5	4,05	8,52	12,3
ОС	Очистные системы	2,2	3	6,6	0,8	0,83	0,67	5,28	3,54	6,36	9,18

Продолжение таблицы 2

Щит	Наименование	P_n кВт	n	$P_{н\Sigma}$ кВт	K_c	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p кВт	Q_p квар	S_p кВ·А	I_p А
ЩОС, ЩПС	Охранная и пожарная безопасность	2	2	4	1	0,95	0,33	4	1,32	4,21	6,08
ШХВС	Насос водоснабжения	4	1	4	1	0,95	0,33	4	1,32	4,21	6,08
Итого на шинах НН				—	—	0,89	0,51	428,02	219,73	481,13	694,45
Потери T_p НН				—	—	—	—	8,56	42,8	43,65	63
Итого				—	—	—	—	436,58	262,53	509,44	735,31

Потребители, представленные в таблице 2, запитаны от ВРУ-1. Расчетная мощность для помещений зон торговли принята 10 кВт для одного силового щита. Расчет нагрузок торговых зон представлен в таблице 3. Данные силовые щиты подключаются к ВРУ-2.

Таблица 3 – Расчет нагрузок торговых зон

Щит	Наименование потребителей	P_n , кВт	n	$P_{n\Sigma}$, кВт	K_n	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВт	S_p , кВА
ЩР-1 и ЩР-4	Первый этаж и второй этаж	10	12	120	0,9	0,95	0,33	108,00	35,64	113,73
ЩР-3 и ЩР-6	Второй этаж ЩР4	10	8	80	0,9	0,95	0,33	72,00	23,76	75,82

Для потребителей жилых и общественных зданий компенсация реактивной нагрузки, как правило, не требуется.

Для местных и центральных тепловых пунктов, насосных, котельных и других потребителей, предназначенных для обслуживания жилых и общественных зданий, расположенных в микрорайонах (школы, детские ясли-сады, предприятия торговли и общественного питания и другие потребители), компенсация реактивной нагрузки, как правило, не требуется, если в нормальном режиме работы расчетная мощность компенсирующего устройства на каждом рабочем вводе не превышает 50 квар. Это соответствует суммарной расчетной нагрузке указанных потребителей 250 кВт.

Вывод по разделу.

В результате расчета электрических нагрузок была получена полная мощность электроприемников административно-торгового здания, которая составляет 701 кВА.

3 Расчет освещения

Расчет освещения административно-торгового здания проведем с помощью программного комплекса Dialux. Освещенность торговых залов и помещений здания примем по ГОСТ Р 55710-2013.

«Аварийное освещение предусматривается на случай нарушения питания основного (рабочего) освещения. Аварийное освещение должно включаться автоматически при пропадании питания основного (рабочего) освещения, а также по сигналам систем пожарной и аварийной сигнализации или вручную, если сигнализации нет или она не сработала.

Аварийное освещение подключается к источнику питания, независимому от источника питания рабочего освещения» [14].

Диаграммы освещенности здания представим на рисунках 1-3.

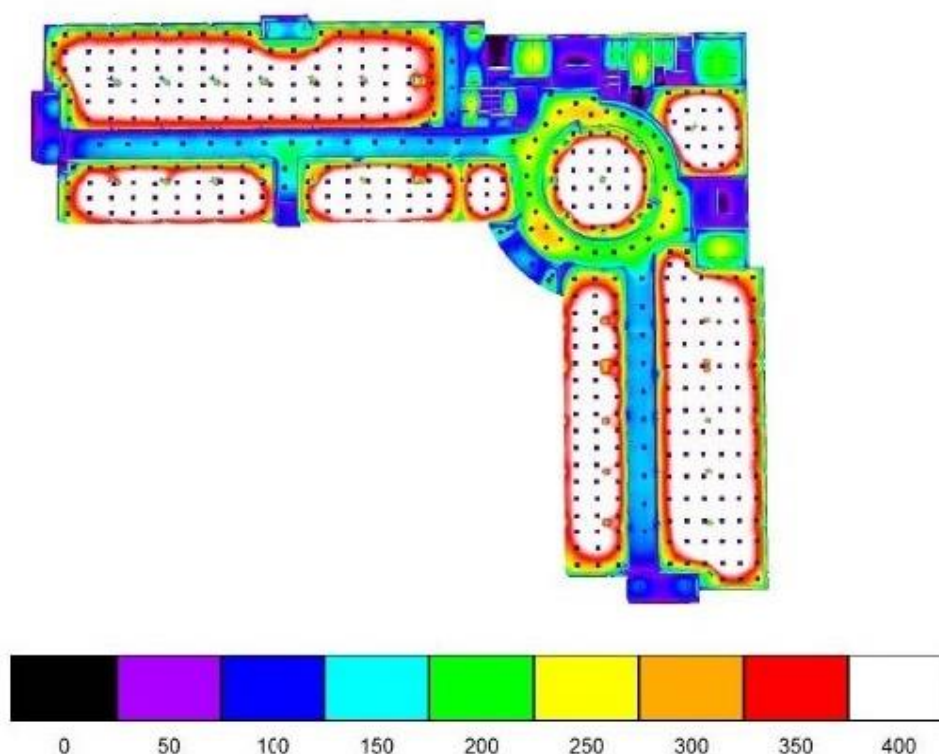


Рисунок 1 – Диаграмма освещенности первого этажа

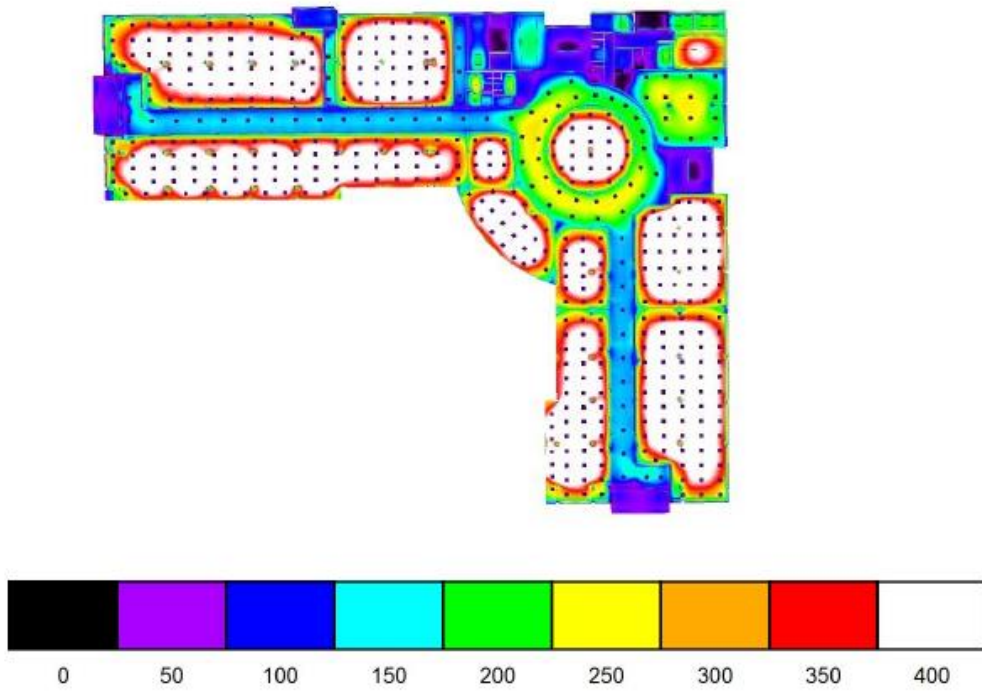


Рисунок 2 – Диаграмма освещенности второго этажа

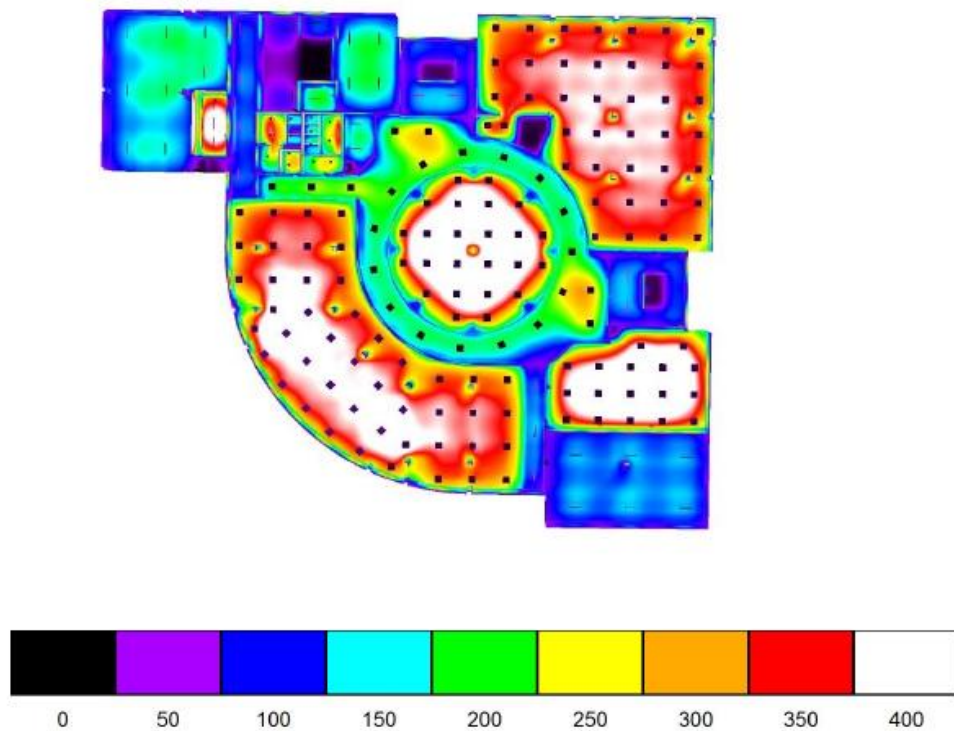
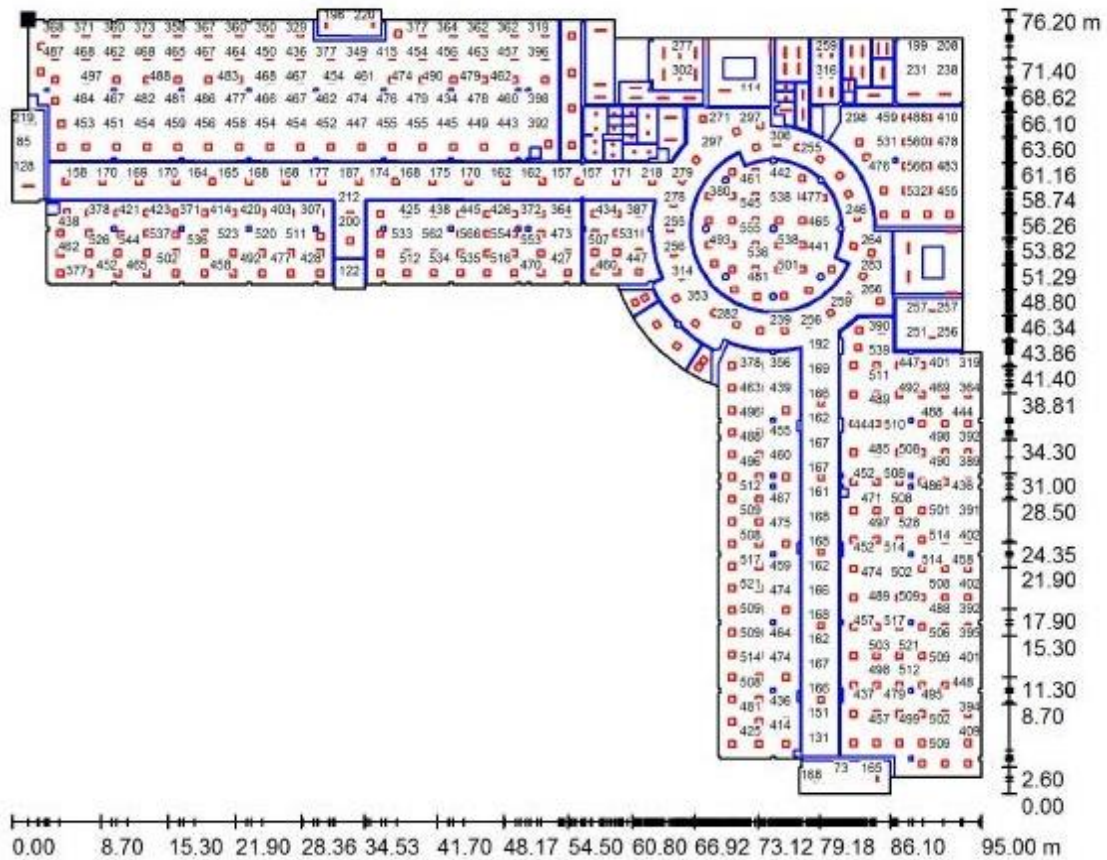


Рисунок 3 – Диаграмма освещенности третьего этажа

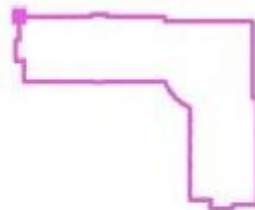
С помощью программы Dialux определим расстановку светильников (рисунки 4-6).



Значения в Lux, Масштаб 1 : 680

Не все расчетные данные могут быть представлены.

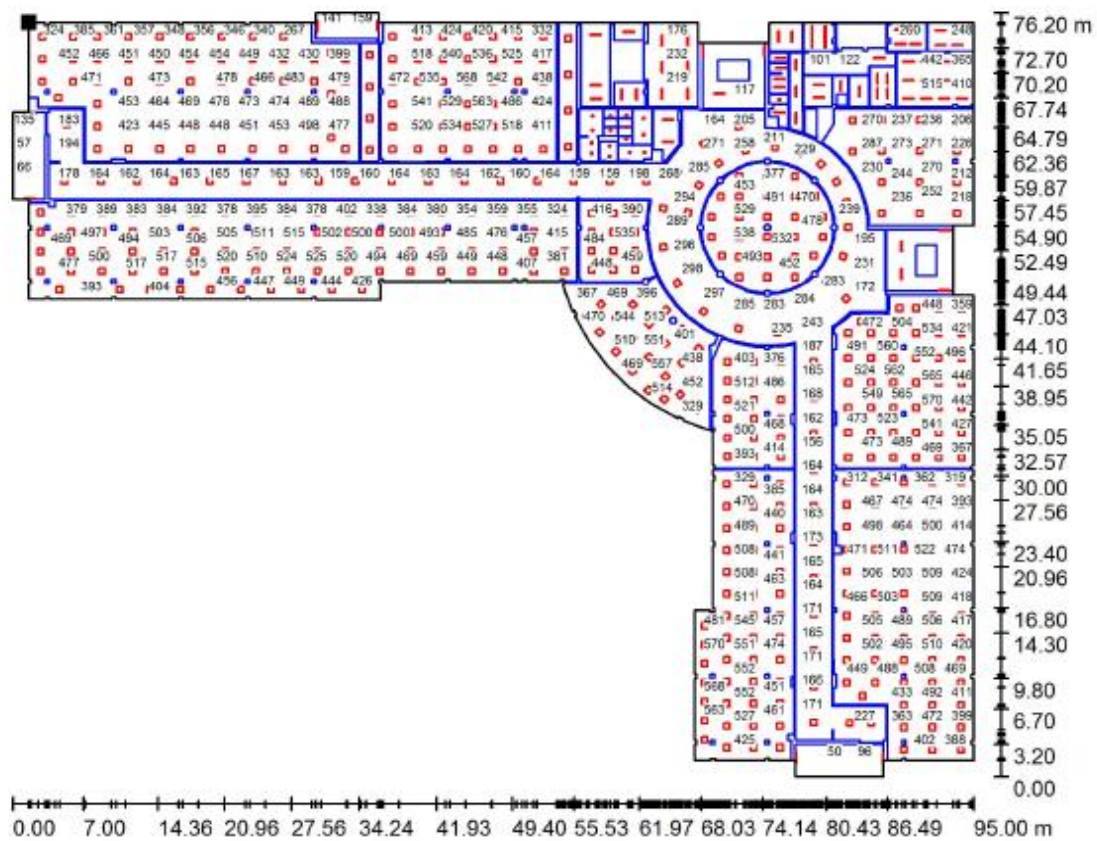
Расположение поверхности в помещении:
Выделенная точка:
(445.054 m, 368.258 m, 0.800 m)



Растр: 128 x 128 Точки

E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}	E_{min} / E_{max}
347	21	583	0.060	0.036

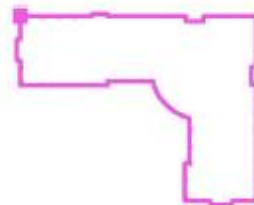
Рисунок 4 – Расстановка светильников первого этажа административно-торгового здания



Значения в Lux, Масштаб 1 : 680

Не все расчетные данные могут быть представлены.

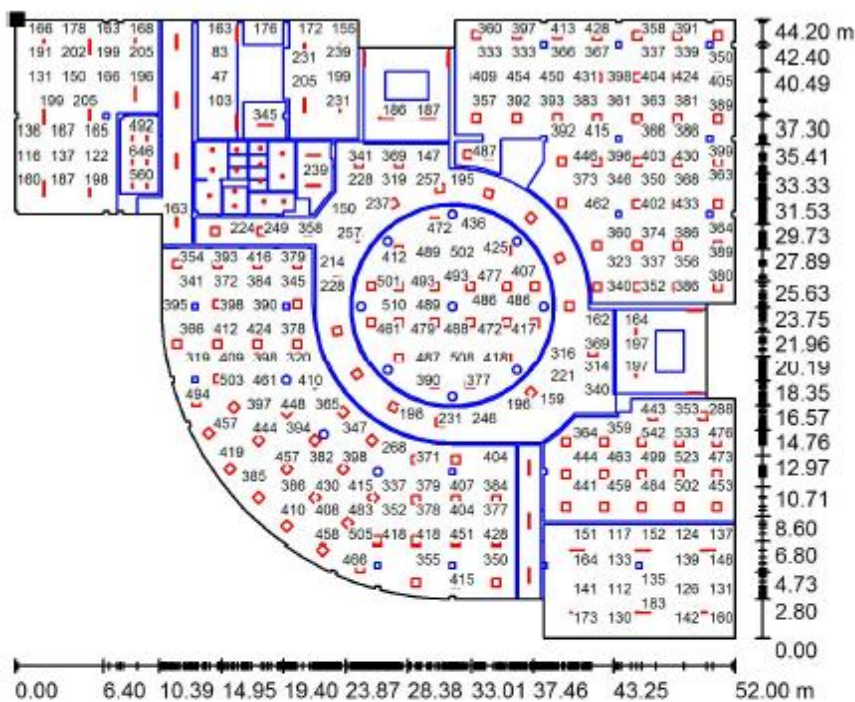
Расположение поверхности в помещении:
Выделенная точка:
(445.054 m, 252.536 m, 0.800 m)



Растр: 128 x 128 Точки

E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}	E_{min} / E_{max}
343	15	598	0.043	0.025

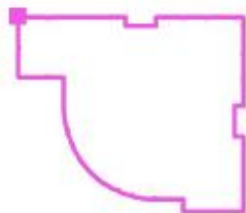
Рисунок 5 – Расстановка светильников второго этажа административно-торгового здания



Значения в Lux, Масштаб 1 : 500

Не все расчетные данные могут быть представлены.

Расположение поверхности в помещении:
Выделенная точка:
(486.654 m, 133.879 m, 0.800 m)



Растр: 128 x 128 Точки

E_{cp} [lx]
300

E_{min} [lx]
26

E_{max} [lx]
653

E_{min} / E_{cp}
0.087

E_{min} / E_{max}
0.040

Рисунок 6 – Расстановка светильников третьего этажа административно-торгового здания

Управление фасадным освещением предусмотрено через ШНО, поскольку требования нормативных документов, следующие:

«Наружное освещение должно иметь управление, независимое от управления освещением внутри зданий.

В проектах наружного освещения необходимо предусматривать освещение подъездов к противопожарным водоисточникам, если они расположены на неосвещенных частях проездов. Средняя горизонтальная освещенность этих подъездов должна быть 2 лк.

Наружное архитектурное освещение должно обеспечивать в вечернее время хорошую видимость и выразительность наиболее важных объектов и повышать комфортность световой среды города. Установки архитектурного освещения не должны производить слепящее действие на водителей транспорта и пешеходов» [14].

Уличные светильники предусмотрены с защитой IP68.

Вывод по разделу.

Освещение административного-торгового здания рассчитано в соответствии с условиями эксплуатации светильников, требованиями нормативных документов. Данные требования необходимы для безопасной работы обслуживающего персонала и сотрудников здания, надежной и стабильной работы осветительной аппаратуры.

Расчетная активная мощность наружного освещения здания, а также мощность внутреннего освещения включена в расчет общей нагрузки здания. Места установки светильников внутри здания представлены на чертеже, и общая его нагрузка составляет примерно 62 кВт.

4 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

Используя данные таблицы 1, мы принимаем, что административно-торговое здание относится в большей степени к II категории надежности электроснабжения.

Электроснабжение административно-торгового здания осуществляется от внешних питающих сетей напряжением 10 кВ. Тип системы заземления здания – TN-C-S. [16]

В соответствии с вышесказанным, поскольку общественное здание имеет электроприемники с I и II категориями надежности электроснабжения, то для питания административно-торгового здания выберем КТП с двумя трансформаторами. Для выбора мощности трансформаторов необходимо провести соответствующие расчеты. [18]

Полная мощность одного трансформатора:

$$S_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{р.}\Sigma}}{K_{\text{з.тр}} \cdot N_{\text{тр}}} \quad (6)$$
$$S_{\text{тр}} = \frac{509,44}{0,7 \cdot 2} = 509,44 \text{ кВА}$$

Округляя полученное значение полной мощности, выбираем трансформатор ТМГ630/10/0,4.

Для технико-экономического обоснования выбора двух трансформаторов ТМГ630/10/0,4 необходимо провести сравнение с двумя трансформаторами ТМГ1000/10/0,4. [20]

Технико-экономические данные трансформаторов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Техничко-экономические параметры трансформаторов

Маркировка трансформатора	$P_{xx.T}$	$P_{kз.T}$	$U_{kз.T}$	$I_{xx.T}$	Стоимость
	Вт	Вт	%	%	руб/шт
ТМГ630/6/0,4	1040	7500	5,4	1,5	206 000
ТМГ1000/6/0,4	1540	10700	5,4	1,1	282 000

Внешний вид выбираемых комплектных трансформаторных подстанций (КТП) представлен на рисунке 7. Данная КТП может включать в себя трансформаторы мощностью 400-1000 кВА.



Рисунок 7 – Внешний вид КТП 630 10/0,4

Число часов максимальных потерь за год работы трансформатора:

$$\delta_M = 8760 \cdot \left(0,124 + \frac{\sigma_{max}}{10000}\right)^2 \quad (7)$$

где « σ_{max} – число часов использования максимума электрической нагрузки, ч». [10] В нашем случае это 5200ч.

Годовые потери электроэнергии одного из двух трансформаторов:

$$\Delta W_{\text{год.т}} = \Delta P_{\text{хх.т}} \cdot T_{\text{т}} \cdot n_{\text{т}} + \Delta P_{\text{кз.т}} \cdot \left(\frac{S_{\text{р.гр}\Sigma}}{S_{\text{н.тр}}}\right)^2 \cdot \delta_{\text{м}} \cdot \frac{1}{n_{\text{т}}} \quad (8)$$

где $T_{\text{т}}$ – количество рабочих часов трансформатора, ч/год.

Денежные издержки одного трансформатора:

$$I_{\text{год.т}} = \rho_{\text{а.т}} \cdot K_{\text{т}} + \left(\frac{\gamma}{\sigma_{\text{max}}} + \vartheta\right) \cdot \Delta W_{\text{год.т.тр}} \cdot 10^{-5} \quad (9)$$

где $\rho_{\text{а.т}}$ – коэффициент амортизации;

γ – стоимость 1 кВт мощности по договору;

ϑ – стоимость дополнительного кВт·ч по счетчику;

$K_{\text{т}}$ – стоимость трансформатора, тыс. руб.

Денежные затраты на приобретение трансформатора:

$$Z_{\text{т}} = \rho_{\text{н.т}} \cdot K_{\text{т}} + I_{\text{год.т}} \quad (10)$$

где « $\rho_{\text{н.т}}$ – показатель экономической эффективности» [10].

Результаты вычислений занесем в таблицу 5.

Таблица 5 – Техническое и экономическое сравнение вариантов

Параметр	ТМГ 630/10/0,4	ТМГ 1000/10/0,4
$K_{\text{з.тр}}$	0,55	0,35
$\delta_{\text{м}}$	5200 ч/год	5200 ч/год
$\Delta W_{\text{год.т}}$	36049 кВт·ч	37076 кВт·ч
$I_{\text{год.т}}$	19,50 тыс. руб	26,58 тыс. руб
$\rho_{\text{н.т}} \cdot K_{\text{т}}$	24,72 тыс. руб	33,84 тыс. руб
Z	44,22 тыс. руб	60,42 тыс. руб

Вывод по разделу.

Технико-экономическое обоснование позволило получить следующие результаты: установка двух трансформаторов ТМГ630/10/0,4 выгоднее ТМГ1000/10/0,4 для электроснабжения административно-торгового здания.

Трансформатор ТМГ1000/10/0,4 не окупился по причине более высокой цены и годовых потерь электроэнергии.

Повышенные годовые потери электроэнергии трансформатора ТМГ1000/10/0,4 связаны с его низкой загруженностью, а именно с коэффициентом загрузки.

Поэтому для электроснабжения административно-торгового здания был выбран трансформатор ТМГ630/10/0,4.

Далее необходимо провести расчет токов короткого замыкания (ТКЗ).

5 Расчет токов короткого замыкания

Мощность трехфазного КЗ примем согласно ГОСТ, где $S_c=500$ МВА, $U_6=10,5$ кВ, $S_6=1000$ МВА.

Расчет ТКЗ проведем согласно требованиям и нормам ГОСТ. Расчет проведем в относительных единицах (о.е.).

Ток от системы до КТП:

$$I_{c-тр} = \frac{S_{тр.н}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (11)$$
$$I_{c-тр} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 35 \text{ А}$$

Для экономической плотности тока $J_{эк}=1,1$ А/мм² получаем сечение [10]:

$$S_{c-тр} = \frac{I_{c-тр}}{J_{эк}} \quad (12)$$
$$S_{c-тр} = \frac{35}{1,1} = 32 \text{ мм}^2$$

Округляя до ближайшего сечения, получаем 50 мм². Согласно ПУЭ, для АПВБВ 3x50/16-10 допустимый ток составляет 134 А [9]. Кабель выдержит проходящий ток при аварийном отключении одного трансформатора. [17]

«Технические данные кабеля: $r_{уд.1}=0,62$ Ом/км, $x_{уд.1}=0,09$ Ом/км» [6].

Длина кабельной трассы от точки питания до КТП равна $l_{кл.1}=500$ м.

Активное и индуктивное сопротивление кабеля:

$$r_{кл1} = r_{уд1} \cdot l_{кл1} \quad (13)$$

$$x_{кл1} = x_{уд1} \cdot l_{кл1} \quad (14)$$

Получаем: $r_{КЛ1}=45$ мОм, $x_{КЛ1}=310$ мОм.

Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_6^2}{S_{\text{сист}}} \quad (15)$$
$$x_c = \frac{10,5^2}{500} = 0,221 \text{ Ом}$$

По формулам получаем, что для точки К1: $r_{К.1}=310$ мОм; $x_{К.1}=266$ мОм.
Составим схему замещения цепи с указанием точек К3 (рисунок 8).

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными $r_{кв}=1,1$ мОм, $x_{кв}=0,5$ мОм.

Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов тока первого класса точности $r_{ТА}=0,2$ мОм, $x_{ТА}=0,3$ мОм.

Активное сопротивление контактов $r_k=0,1$ мОм» [2, 19].

Перерасчет сопротивления ступени ВН на ступень НН:

$$x_{К.1\text{пр}} = x_{К.1} \frac{U_{\text{НН}}^2}{U_{\text{ВН}}^2} \quad (16)$$

$$x_{К.1\text{пр}} = 266 \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} = 0,39 \text{ мОм}$$

$$r_{К.1\text{пр}} = r_{КЛ.1} \frac{U_{\text{НН}}^2}{U_{\text{ВН}}^2} \quad (17)$$

$$r_{К.1\text{пр}} = 310 \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} = 0,45 \text{ мОм}$$

Реактивное сопротивление ТМГ630/10/0,4 [4]:

$$x_T = \sqrt{u_{КЗ.Т}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{КЗ.Т}}{S_{\text{тр}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{тр}}} \cdot 10^4 \quad (18)$$
$$x_T = \sqrt{5,4^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,5}{1000}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^4 = 8,56 \text{ мОм}$$

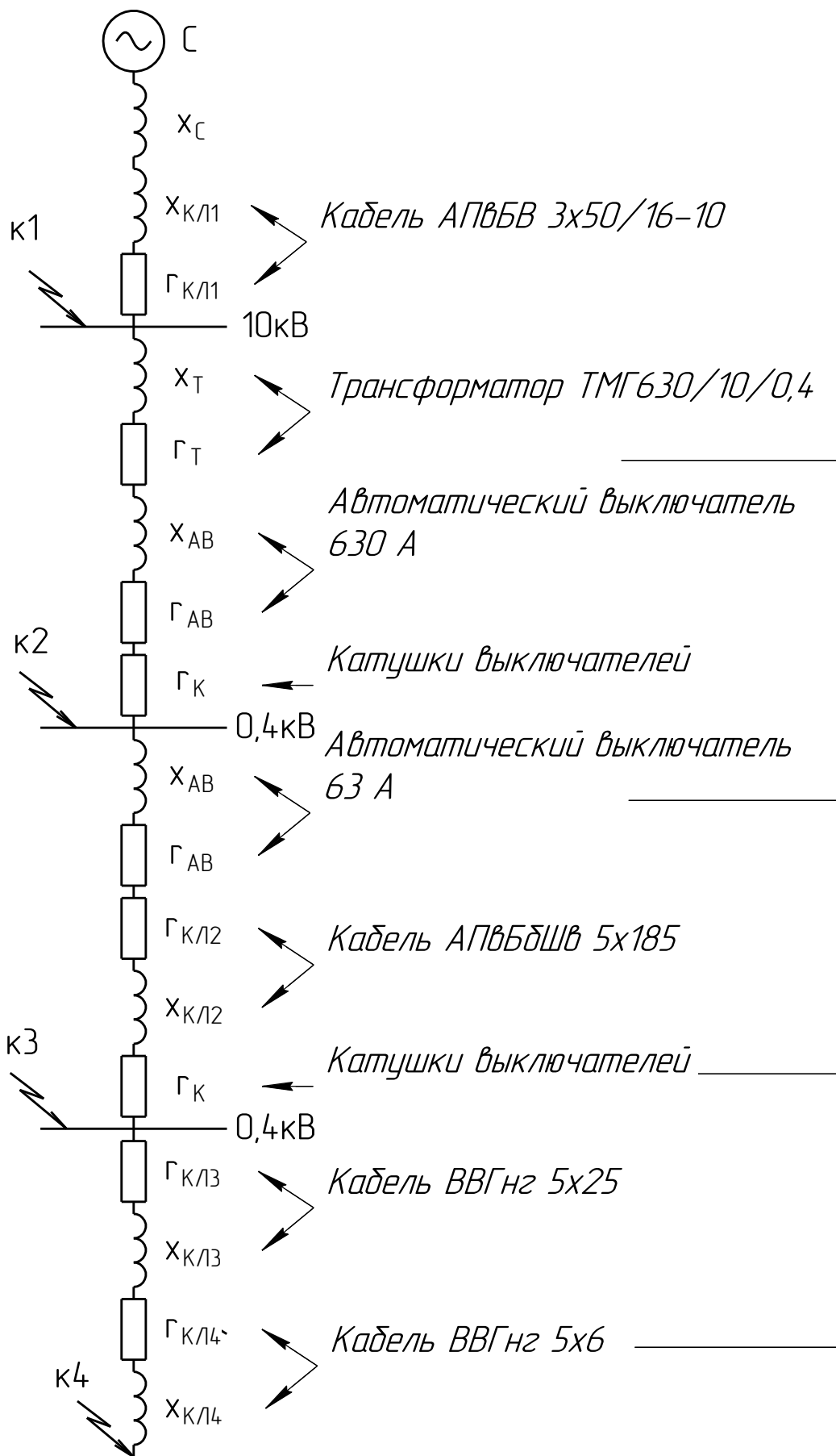


Рисунок 8 – Схема замещения цепи

Активное сопротивление ТМГ630/10/0,4 [4]:

$$r_T = \frac{P_{кз.т} \cdot U_{нн}^2}{S_{тр}^2} \cdot 10^6 \quad (19)$$

$$r_T = \frac{7,5 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 1,2 \text{ мОм}$$

Активное и индуктивное сопротивление цепи от системы до точки К2:

$$r_{рез2} = r_K + r_{кв} + r_{тт} + r_{кЛ1} + r_T \quad (20)$$

$$x_{рез2} = x_{кв} + x_{тт} + x_C + x_{кЛ1} + x_T \quad (21)$$

Суммарные активное и индуктивное сопротивления цепи: $r_{рез2} = 24,68$ мОм, $x_{рез2} = 28,51$ мОм. Далее воспользуемся формулами ГОСТ для расчета КЗ до 1кВ.

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ без учета подпитки от электродвигателей» [2]:

$$I_{п.0} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3 \cdot (r_{рез2}^2 + x_{рез2}^2)}} \quad (22)$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей ТКЗ» [2]:

$$\psi = \arctg\left(\frac{x_{сумм2}}{r_{сумм2}}\right) \quad (23)$$

«Время от начала КЗ до появления ударного тока» [2]:

$$\zeta = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \psi}{\pi} \quad (24)$$

«Постоянная времени затухания аperiodической составляющей ТКЗ»

[2]:

$$T_a = \frac{x_{рез2}}{r_{рез2} \cdot \omega} \quad (25)$$

«Ударный коэффициент» [2]:

$$K_{уд} = (1 + \sin\psi \cdot e^{-\frac{\zeta}{T_a}}) \quad (26)$$

«Ударный ток» [2]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot K_{уд} \quad (27)$$

Точки К3 и К4 рассчитаем аналогично и занесем в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчет трехфазных КЗ административно-торгового здания

Точка	Элемент цепи	x	r	I _{п.0}	ψ	ζ	K _{уд}	i _{уд.к}
		МОм	МОм	кА	рад	10 ⁻³ с	–	кА
1	Система (ВН)	221	–	–	–	–	–	–
	КЛ от системы до КТП	45	310	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	266	310	14,84	–	–	1,4	29,38
2	Перерасчет сопротивления К1 к НН	0,39	0,45	–	–	–	–	–
	Силовой трансформатор	8,56	1,20	–	–	–	–	–
	КЛ от КТП до РУ	15,4	26	–	–	–	–	–
	Контакты	–	0,1	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 6

Точка	Элемент цепи	x	r	I _{п.0}	ψ	ζ	K _{уд}	i _{уд.К}
		МОм	МОм	кА	рад	10 ⁻³ с	–	кА
2	Катушки расцепителей	0,17	0,65	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	0,17	0,11	–	–	–	–	–
	Суммарное сопротивление	24,68	28,51	6,12	0,71	7,26	1,3	11,25
3	КЛ от РУ до ЩС	7,7	13	–	–	–	–	–
	Контакты	–	0,1	–	–	–	–	–
	Катушки расцепителей	0,5	1,1	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	0,67	0,32	–	–	–	–	–
	Суммарное сопротивление	33,55	43,03	4,23	0,66	7,1	1,2	7,18
4	КЛ от ЩС до ЭП	4,62	7,8	–	–	–	–	–
	Контакты	–	0,1	–	–	–	–	–
	Катушки расцепителей	0,7	1,3	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	1,2	0,75	–	–	–	–	–
	Суммарное сопротивление	40,07	52,98	3,48	0,65	7,07	1,2	5,91

Вывод по разделу.

Расчет КЗ выполнен для четырех точек: первая точка взята на стороне выше 1 кВ, остальные точки взяты на стороне ниже 1 кВ. По мере отдаления точки КЗ, снижается ударный ток и начальное действующее значение периодической составляющей.

«Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ» [15]:

$$i_{a,\gamma} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} \quad (29)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 6,12 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{2,76}} = 8,5 \text{ кА}$$

«Номинальное значение аperiodической составляющей» [15]:

$$i_{a,n} = \sqrt{2} \cdot I_{\delta} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \tau}) \quad (30)$$

$$i_{a,n} = \sqrt{2} \cdot 10 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 18,73 \text{ кА}$$

где I_{δ} – ток отключения выключателя, кА.

Расчет тока термической стойкости для точки К2:

$$W_K = I_{п.0}^2 (T_a + t_{пв}) \quad (31)$$

$$W_K = 6,12^2 \cdot (2,76 + 30) \cdot 10^{-3} = 1,23 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Результаты расчетов и проверки оборудования занесем в таблицу 7.

Таблица 7 – Проверка параметров электрооборудования

Расчетный параметр	Параметр сравнения	Трансформатор тока	Автоматический выключатель	Разъединитель
$I_{\max}=506 \text{ А}$	$I_{\text{раб}}$	600 А	630 А	630 А
$I_{п.0}=6,12 \text{ кА}$	I_{δ}	–	10 кА	–
$i_{a,\tau}=8,5 \text{ кА}$	$i_{a,n}$	–	18,73 кА	–
$i_{уд}=11,25 \text{ кА}$	$i_{пр.с}$	15 кА	20 кА	20 кА
$W_K=1,23 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$W_{K,n}$	20 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	20 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	20 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$

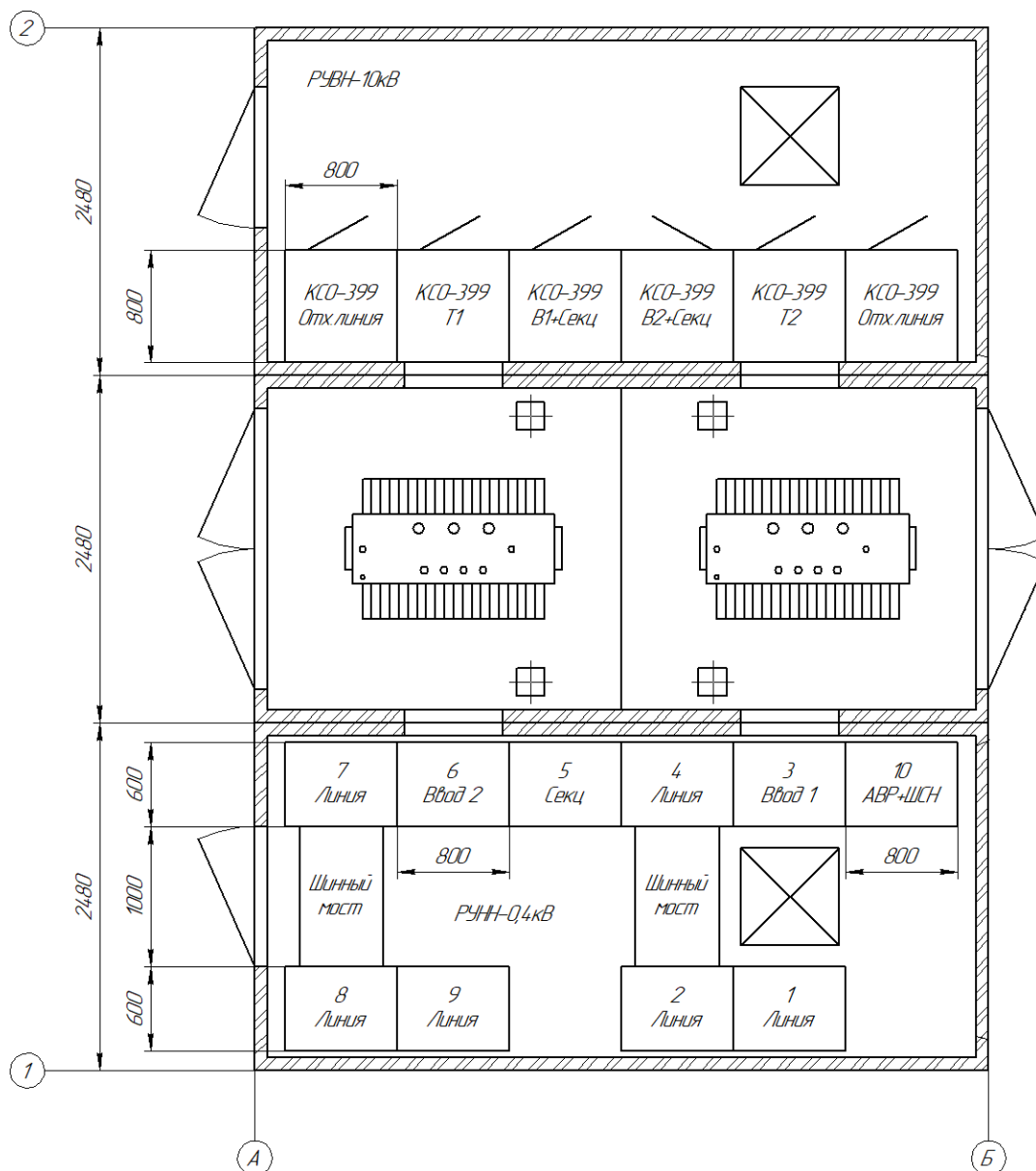


Рисунок 10 – Компонировка оборудования КТП с ТМГ630/10/0,4

Теперь выберем кабели для административно-торгового здания.

Принимаем кабель на стороне 10 кВ марки АПвБВ 3х50/16-10.

Маркировка кабеля расшифровывается следующим образом:

- «А – Алюминиевая токопроводящая жила;
- Пв – Изоляция жил из сшитого полиэтилена;
- Б – Броня из двух стальных лент;
- В – Оболочка из поливинилхлоридного пластиката;

- 3 – количество жил;
- 50 – сечение жилы;
- 16 – сечение экрана;
- 10 – номинальное напряжение, кВ» [6].

От каждой секции КТП до ВРУ проложены по три кабеля АПвБбШв 5х185, имеющие следующие конструктивные особенности:

- «А – Алюминиевая токопроводящая жила;
- Пв – Изоляция жил из сшитого полиэтилена;
- Б – Броня из двух стальных лент;
- б – Без подушки, предохраняющей изоляцию от коррозии и механических повреждений лентами или проволоками брони;
- Шв – Защитный покров в виде выпрессованного шланга из поливинилхлоридного пластиката» [7].

Выбор кабелей распределительной сети представлен на чертеже, а расчет занесен в таблицу 8.

«Автоматические выключатели выбираем исходя из сечений кабелей».
[1].

Таблица 8 – Расчет и выбор автоматических выключателей и кабелей по мощности и току

Щит	Длина	P_y , кВт	I_p , А	s_p , мм ²	s , мм ²	Тип АВ
Внутреннее освещение (ЩО)						
1.1	31	5,6	8,51	3,15	4	3р С10А
1.2	41	5,6	8,51	3,15	4	3р С10А
1.3	81	5,6	8,51	3,15	4	3р С10А
2.1	51	6,3	9,57	3,55	4	3р С10А

Продолжение таблицы 8

Щит	Длина	Р _у , кВт	І _р , А	sp, мм ²	s, мм ²	Тип АВ
Внутреннее освещение (ЩО)						
2.2	52	6,3	9,57	3,55	4	3р С10А
2.3	31	6,3	9,57	3,55	4	3р С10А
3.1	59	5,8	8,81	3,26	4	3р С10А
Уличное освещение (ШНО)						
–	71	7,4	11,24	4,16	6	3р С16А
Потребители офисных помещений (ЩС)						
1.1	36	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
1.2	46	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
1.3	63	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
2.1	44	3,5	5,32	1,97	2,5	3р С8А
2.2	55	3,5	5,32	1,97	2,5	3р С8А
2.3	32	3,5	5,32	1,97	2,5	3р С8А
3.1	47	10	15,19	5,63	6	3р С25А
Сантехника (ЩСН)						
1	31	4,5	6,84	2,53	4	3р С10А
2	38	4,5	6,84	2,53	4	3р С10А
3	43	4,5	6,84	2,53	4	3р С10А
Вентсистема (ЩВ)						
1.1	31	12	18,23	6,75	10	3р С25А
2.1	41	12	18,23	6,75	10	3р С25А
3.2	81	18	27,35	10,13	10	3р С32А
3.3	32	18	27,35	10,13	10	3р С32А
Установки системы кондиционирования (ЩК)						
2.1	60	6	9,12	3,38	4	3р С16А
3.1	41	35	53,18	19,70	25	3р С63А

Продолжение таблицы 8

Щит	Длина	Р _у , кВт	І _р , А	sp, мм ²	s, мм ²	Тип АВ
Установки системы кондиционирования (ЩК)						
3.2	70	35	53,18	19,70	25	3р С63А
3.3	6	35	53,18	19,70	25	3р С63А
Пищевблок (ЩР)						
ТХ	21	9	13,67	5,06	6	3р С20А
1.1	16	3	4,56	1,69	2,5	3р С8А
2.1	31	3	4,56	1,69	2,5	3р С8А
3.1	41	3	4,56	1,69	2,5	3р С8А
Приточная вентиляция дымоудаления (ПД)						
1	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
2	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
3	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
4	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
5	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
6	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
7	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
8	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
9	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
лифт	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
ЗБ	–	4,5	6,84	2,53	2,5	3р С10А
Вытяжная вентиляция дымоудаления (ВД)						
1	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
2	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
3	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
4	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
5	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А

Продолжение таблицы 8

Щит	Длина	Р _у , кВт	І _р , А	sp, мм ²	s, мм ²	Тип АВ
Вытяжная вентиляция дымоудаления (ВД)						
6	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
7	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
8	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
9	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
10	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
11	–	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А
Аварийное освещение (ЩАО)						
1.1	16	2,5	3,80	1,41	1,5	3р С4А
2.1	31	0,7	1,06	0,39	0,5	3р С4А
3.1	42	1,2	1,82	0,68	0,75	3р С4А
Силовое наружное электрооборудование (ШСН)						
1	12	7,5	11,40	4,22	6	3р С16А
2	139	7,5	11,40	4,22	6	3р С16А
ОС	41	2,2	3,34	1,24	1,5	3р С6А
ИТП	41	9,5	14,43	5,35	6	3р С20А
Охранная и пожарная сигнализация (ЩОС, ЩПС)						
ЩОС	31	2	3,04	1,13	1,5	3р С6А
ЩПС	31	2	3,04	1,13	1,5	3р С6А
Водоснабжение (ШХВС)						
ШХВС	40	4	6,08	2,25	2,5	3р С10А

«В обозначении марок кабельных изделий, предназначенных для групповой прокладки, в скобках должны добавляться буквенные индексы, указывающие на соответствие кабельных изделий требованиям по нераспространению горения» [3].

Для соблюдения требований пожаробезопасности выберем кабели для прокладки в помещениях типа ВВГнг(А)-FRLS. [3]

Вывод по разделу

Грамотный выбор электрооборудования КТП необходим для надежности и бесперебойности электроснабжения. Выбор проводился путем проверки оборудования по:

- напряжению;
- термической стойкости;
- электродинамической стойкости (автоматические выключатели);
- рабочему току.

Току апериодической составляющей ТКЗ (автоматические выключатели).

Далее были рассчитаны сечения кабелей для электроснабжения административно-торгового здания, кабели и автоматические выключатели распределительной сети.

7 Расчет заземляющего устройства

Согласно ПУЭ, сопротивление устройства заземления не должно превышать 4 Ом. Контур заземления выполним из металлической полосы шириной 25 мм и толщиной 4 мм. Схема горизонтальных и вертикальных заземлителей представлена на рисунке 11.

Контур заземления представляет собой сетку из вертикально и горизонтально расположенных заземлителей. Расчет заземления проводится по общеизвестным формулам.

Сопротивление одного вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{в.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2\pi L_{в.з}} \left(\ln \frac{2L_{в.з}}{d_{в.з}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{в.з} + L_{в.з}}{4 \cdot T_{в.з} - L_{в.з}} \right) \quad (32)$$

$$R_{в.з} = \frac{95}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,9} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,9}{0,019} + 0,5 \ln \frac{8 + 2,9}{8 - 2,9} \right) = 31,82 \text{ Ом}$$

где $\rho_{э.г}$ – величина удельного сопротивления грунта, Ом · м;

$L_{в.з}$ – длина вертикального заземлителя, м;

$d_{в.з}$ – диаметр вертикального заземлителя, м;

$T_{в.з}$ – заглубление заземлителя, м.

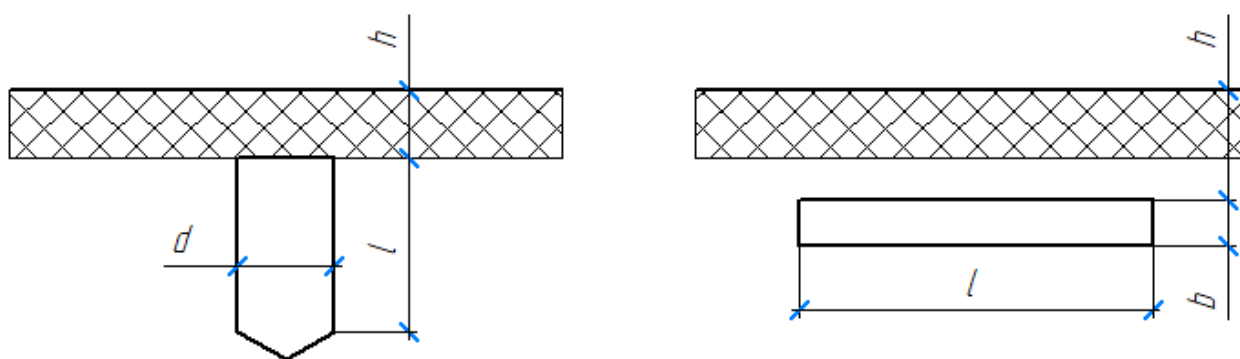


Рисунок 11 – Расположение и размеры вертикальных заземлителей (слева) и горизонтальных заземлителей (справа)

Сопротивление одного горизонтально расположенного заземлителя:

$$R_{г.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2 \cdot \pi \cdot L_{г.з}} \cdot \ln \frac{2L_{г.з}^2}{b_{г.з} \cdot h_{г.з}} \quad (33)$$

$$R_{г.з} = \frac{95}{2\pi \cdot 330} \cdot \ln \frac{2 \cdot 330^2}{0,06 \cdot 0,4} = 0,73 \text{ Ом}$$

где $b_{г.з}$ – ширина горизонтального заземлителя, м;

$h_{г.з}$ – заглубление горизонтальных заземлителей, м;

$L_{г.з}$ – длина горизонтального заземлителя, м.

Зная количество и сопротивления вертикальных и горизонтальных заземлителей, рассчитаем полное сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{иi} n_i}{R_i}} \quad (34)$$

$$R_{з.у} = \frac{1}{\frac{25 \cdot 0,69}{31,82} + \frac{1 \cdot 0,69}{0,73}} = 0,68 \text{ Ом}$$

где n_i – число комплектов горизонтальных и вертикальных заземлителей;

$k_{иi}$ – коэффициент использования заземлителей.

Сопротивление не превышает допустимое (4 Ом). План укладки заземляющих электродов представлен на чертеже. Рассмотрим основные моменты, касаемые монтажа молниезащиты.

«Молниеприемники могут быть специально установленными, в том числе на объекте, либо их функции выполняют конструктивные элементы защищаемого объекта; в последнем случае они называются естественными молниеприемниками.

Молниеприемники могут состоять из произвольной комбинации следующих элементов: стержней, натянутых проводов (тросов), сетчатых проводников (сеток)» [12].

«Желательно, чтобы токоотводы равномерно располагались по периметру защищаемого объекта. По возможности они прокладываются вблизи углов зданий» [11].

Молниеприемная сетка уложена под слоями утеплителя и гидроизоляции (представлена на чертеже). Роль естественного молниеприемника выполняют несущие элементы металлоконструкции здания, а также трубы сливов, водоснабжения и водоотведения. Согласно ПУЭ соединение данных элементов должно быть предусмотрено с основной системой уравнивания потенциалов (сваркой). Соединяется с помощью медной главной заземляющей шины.

«К III категории отнесены объекты, последствия, поражения которых связаны с меньшим материальным ущербом, чем при взрывоопасной среде. Сюда входят здания и сооружения с пожароопасными помещениями или строительными конструкциями низкой огнестойкости, причем для них требования к молниезащите ужесточаются с увеличением вероятности поражения объекта (ожидаемого количества поражений молнией). Кроме того, к III категории отнесены объекты, поражение которых представляет опасность электрического воздействия на людей и животных: большие общественные здания, животноводческие строения, высокие сооружения типа труб, башен, монументов. Наконец, к III категории отнесены мелкие строения в сельской местности, где чаще всего используются сгораемые конструкции. Согласно статистическим данным на эти объекты приходится значительная доля пожаров, вызванных грозой. Из-за небольшой стоимости этих строений их молниезащита выполняется упрощенными способами, не требующими значительных материальных затрат» [12].

Вывод по разделу

Рассчитанное заземляющее устройство удовлетворяет требованиям ПУЭ. Молниезащита административно-торгового здания выполнена с соблюдением требований нормативных документов и правил.

Заключение

В данной ВКР спроектирована система электроснабжения административно-торгового здания.

К исходным данным относятся нагрузки электроприемников административно-торгового здания, его генеральный план. Нагрузки электроприемников позволили определить какие необходимы трансформаторы для электроснабжения общественного здания. Полная нагрузка составила 509,44 кВА.

Технико-экономический анализ позволил выбрать два трансформатора ТМГ630/6/0,4 для электроснабжения административно-торгового здания.

Расчитанные ТКЗ были проведены для стороны выше 1 кВ (одна точка) и ниже 1 кВ (три точки). Для расчета ТКЗ был выбран наиболее мощный электроприемник. В ходе расчета ТКЗ было выявлено, что по мере удаления точки КЗ снижались ударные токи и их начальная периодическая составляющая.

После проведения расчета ТКЗ было проверено оборудование, которое предусматривается для установки в КТП. Силовое электрооборудование прошло проверку на термическую и электродинамическую стойкость. Далее, на стороне НН были выбраны вводные кабели и автоматические выключатели для их защиты. Выбор автоматических выключателей проводился путем использования сводных таблиц по сечению кабельных линий, проложенных в общественном здании от щитов и шкафов до электроприемников.

В заключительном пункте ВКР проводился расчет заземления и молниезащиты административно-торгового здания. Административно-торговое здание относится к III категории по устройству молниезащиты. Для расчета сопротивления заземляющего устройства были рассчитаны сопротивления горизонтальных и вертикальных заземлителей. Сопротивление заземляющего устройства составило менее 4 Ом.

Список используемых источников

1. Выбор автомата по мощности нагрузки, сечению кабеля и по току: принципы и формулы для расчетов [Электронный ресурс] : Интернет-сайт. URL:

<https://sovet-ingenera.com/elektrika/uzo-schet/vybor-avtomata-po-moshhnosti-nagruzki.html> (дата обращения: 02.09.2022).

2. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс]: утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 02.09.2022).

3. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Межгосударственный стандарт утв. приказом №1097-ст от 22.11.2012. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101754> (дата обращения: 02.09.2022).

4. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс]: Национальный стандарт РФ утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 02.09.2022).

5. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением выше 1 кВ [Электронный ресурс]: утв. Приказом №173-ст от 12.12.20073. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200052838> (дата обращения: 02.09.2022).

6. Кабель АПВБВ [Электронный ресурс]: Официальный сайт КПС (кабельная поисковая система). URL: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-10kv/apvbv-10kv/kabel-apvbv-3x50-16.html> (дата обращения: 02.09.2022).

7. Кабель АПВББШв [Электронный ресурс]: Официальный сайт Кабельные системы. URL: <https://kabel-s.ru/catalog/apvbbshv/apvbbshv-5x185/> (дата обращения: 02.09.2022).

8. Комплектные трансформаторные подстанции [Электронный ресурс]: Официальный сайт группы компаний «СвердловЭлектро». URL: <https://svel.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstantsii/> (дата обращения: 02.09.2022).

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

10. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Электронный ресурс]: Руководящий документ утв. приказом №213 от 07.07.1994. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004921> (дата обращения: 02.09.2022).

11. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [Электронный ресурс]: Инструкция утв. приказом №280 от 30.06.2003. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034368> (дата обращения: 02.09.2022).

12. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения [Электронный ресурс]: Свод правил утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/10) (ред. от 19.12.2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092705> (дата обращения: 02.09.2022).

13. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]: Свод правил по проектированию и строительству утв. приказом №194 от 26.10.2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035252> (дата обращения: 02.09.2022).

14. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр (Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*) URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 02.09.2022).

15. Требования к релейной защите [Электронный ресурс]: интернет-сайт. URL: <https://pue8.ru/relejnaya-zashchita/238-trebovaniya-k-relejnoj-zashchite.html> (дата обращения: 19.08.2022).

16. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. *Chemical Engineering Transactions* vol.56, 2017. p. 259-264.
17. Donoso P., Schurch R., Ardila J., Orellana L. Analysis of Partial Discharges in Electrical Tree Growth Under Very Low Frequency (VLF) Excitation Through Pulse Sequence and Nonlinear Time Series Analysis. *IEEE Access* Vol. 8. 2020. p. 673-684.
18. Benthaus M. A coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. *Energy, Sustainability and Society* Vol. 9, №1. 2019. p. 1-16.
19. Escrivá-Escrivá G., Roldán-Blay C., Roldán-Porta C., Serrano-Guerrero X. Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. *Energies* Vol. 12, №15. 2019. 14 p.
20. Xiao Han, Jing Qiu, Lingling Sun, Wei Shen, Yuan Ma, Dong Yuan. Low- carbon energy policy analysis based on power energy system modeling. *Energy Conversion and Economics*. 2020. p. 34-44.