

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 предприятия по продаже и ремонту автомобилей АО  
«АГРОЛАДАСЕРВИС»

Обучающийся

Л.Э. Гумерова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И.В. Горохов

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Темой ВКР является «Электроснабжение предприятия по продаже и ремонту автомобилей АО «АГРОЛАДАСЕРВИС».

В работе рассчитаны электрические нагрузки:

- технологического электрооборудования (ремонта, окраски и сушки);
- оборудования для обеспечения бесперебойной работы автомобильного предприятия;
- наружного и внутреннего освещения (рабочего и аварийного).

Расчет нагрузок позволил выбрать соответствующие силовые трансформаторы.

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

Результаты расчетов ТКЗ, термической и электродинамической стойкости позволили выбрать электрооборудование КТПНУ. Далее был проведен расчет и выбор кабельных линий.

Заключительным этапом ВКР является расчет заземления и молниезащиты автомобильного предприятия.

## Содержание

Введение.....	4
1 Расчет электрических нагрузок .....	5
2 Расчет освещения .....	11
3 Выбор числа и мощности трансформаторов .....	21
4 Определение ТКЗ .....	25
4.1 Определение ТКЗ выше 1 кВ .....	25
4.2 Определение ТКЗ ниже 1 кВ.....	28
5 Проверочный расчет оборудования КТПНУ .....	33
5.1 Проверочный расчет силовых выключателей, разъединителей и трансформаторов тока .....	33
5.2 Выбор кабелей .....	34
6 Расчет заземления и молниезащиты.....	37
Заключение .....	41
Список используемых источников.....	42

## Введение

Поскольку автомобильная промышленность с каждым годом показывает своё развитие и положительные темпы расширения производства, то данная тенденция требует соответствующего роста авторемонтных предприятий, которые оказывают услуги по обслуживанию автотранспортных средств.

Услуги по ремонту автотранспортных средств требуют значительных финансовых вложений потребителей этих услуг, а также являются достаточно популярными. Всё это в совокупности требует открытия новых автомобильных предприятий.

Также дополнительно усиливает актуальность авторемонтных услуг то, что конструкция автомобиля с каждым годом усложняется, следовательно самостоятельный ремонт автотранспортных средств становится затруднительным для обычного потребителя.

Целью ВКР проектирование надежной и эффективной схемы электроснабжения предприятия по продаже и ремонту автомобилей.

Для достижения поставленной цели, которая включает в себя ряд задач:

- Провести расчет электрических нагрузок технологического электрооборудования (ремонта, окраски и сушки), оборудования для обеспечения бесперебойной работы авторемонтного предприятия, наружного и внутреннего освещения (рабочего и аварийного);
- Выбрать соответствующие силовые трансформаторы для электроснабжения авторемонтного предприятия;
- Рассчитать токи короткого замыкания (ТКЗ);
- Используя результаты расчетов ТКЗ, термической и электродинамической стойкости выбрать электрооборудование КТПНУ;
- Выбрать кабельных линии;
- Рассчитать заземление и молниезащиты в соответствии с требованиями правил нормативных документов.

## 1 Расчет электрических нагрузок

К сферам потребления электрической энергии предприятия по продаже и ремонту автомобилей:

- Осветительное оборудование (Рабочее и аварийное освещение, архитектурная подсветка);
- Авторемонтные и технологические установки (компрессоры, краскораспылительное оборудование);
- Пожарная сигнализация;
- Охранная сигнализация.

«Расчетная активная мощность группы электроприемников (ГЭ) предприятия по продаже и ремонту автомобилей:

$$P_{p.гр} = P_{уст} \cdot K_c, \quad (1)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса;

$P_{уст}$  – установленная мощность группы электроприемников, кВт» [18].

«Расчетная реактивная мощность ГЭ предприятия по продаже и ремонту автомобилей:

$$Q_{p.гр} = P_{p.гр} \cdot tg\varphi, \quad (2)$$

где  $tg\varphi$  – коэффициент реактивной мощности ГЭ» [18].

Полная мощность ГЭ предприятия по продаже и ремонту автомобилей:

$$S_{p.гр} = \sqrt{P_{p.гр}^2 + Q_{p.гр}^2} \quad (3)$$

Максимальный расчетный ток ГЭ предприятия по продаже и ремонту автомобилей:

$$I_{p.гр} = \frac{S_{p.гр}}{U \cdot \sqrt{3}} \quad (4)$$

«Для потребителей жилых и общественных зданий компенсация реактивной нагрузки, как правило, не требуется. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

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» [18].

Предприятие по продаже и ремонту автомобилей является общественным зданием, компенсация реактивной мощности не предусмотрена, так как расчетная полная мощность рассматриваемого предприятия менее 250 кВт.

Суммарная нагрузка предприятия по продаже и ремонту автомобилей составляет 235,36 кВт.

Таблица 1 – Расчет нагрузок предприятия по продаже и ремонту автомобилей

РУ	Электроприемник	$P_{уст}$	$K_c$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{р.гр}$	$Q_{р.гр}$	$S_{р.гр}$	$I_{р.гр}$
		кВт	–	–	–	кВт	квар	кВА	А
1	Рабочее освещение	15,6	0,77	0,85	0,62	12,01	7,48	14,15	20,42
–	Щит освещения 1.1	3,4	0,78	0,82	0,7	2,65	1,86	3,24	4,68
	ЩО12	2,2	0,76	0,86	0,59	1,67	0,99	1,94	2,8
	ЩО13	1,2	0,75	0,83	0,67	0,90	0,6	1,08	1,56
	ЩО14	2,1	0,79	0,84	0,65	1,66	1,08	1,98	2,86
	ЩО15	1,5	0,75	0,82	0,7	1,13	0,79	1,38	1,99
	ЩО16	5,2	0,77	0,88	0,54	4,00	2,16	4,55	6,57
2	Распределительные сети	44,4	0,79	0,7	1,02	35,08	35,78	50,11	72,33
–	ЩС11	16,4	0,78	0,69	1,05	12,79	13,43	18,55	26,77
	ЩС12	14,9	0,83	0,71	0,99	12,37	12,25	17,41	25,13
	ЩС13	6,2	0,71	0,73	0,94	4,40	4,14	6,04	8,72
	ЩС14	6,9	0,8	0,68	1,08	5,52	5,96	8,12	11,72

Продолжение таблицы 1

РУ	Электроприемник	$P_{уст}$	$K_c$	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{р.гр}$	$Q_{р.гр}$	$S_{р.гр}$	$I_{р.гр}$
		кВт	–	–	–	кВт	квар	кВА	А
3	Аварийное освещение	1	1	0,88	0,54	1,00	0,54	1,14	1,65
–	ЩАО11	0,4	1	0,88	0,54	0,40	0,22	0,46	0,66
	ЩАО12	0,2	1	0,87	0,57	0,20	0,11	0,23	0,33
	ЩАО13	0,1	1	0,87	0,57	0,10	0,06	0,12	0,17
	ЩАО14	0,3	1	0,89	0,51	0,30	0,15	0,34	0,49
4	Вентиляция (приточная и вытяжная)	68,1	0,92	0,75	0,88	62,65	55,13	83,45	120,45
5	Компрессорная установка	10,9	1	0,7	1,02	10,9	11,12	15,57	22,47
6	Оборудование газовой котельной	9,8	1	0,95	0,33	9,8	3,23	10,32	14,9
7	Системы автоматики	5,9	1	0,95	0,33	5,9	1,95	6,21	8,96
8	Источник бесперебойного питания	4,9	1	0,85	0,62	4,9	3,04	5,77	8,33
9	Уличное и архитектурное освещение	2,8	1	0,85	0,62	2,8	1,74	3,3	4,76
10	Помещения обслуживающего персонала и администрации	16,8	0,76	0,7	1,02	12,77	13,03	18,24	26,33
11	Система кондиционирования	9,2	0,69	0,8	0,75	6,35	4,76	7,94	11,46
12	Технологическое оборудование окраски и сушки	103,45	0,61	0,7	1,02	63,1	64,36	90,13	130,09
13	Насосная	13,3	0,79	0,7	1,02	10,51	10,72	15,01	21,67
–	Итого:	306,15	0,78	0,74	0,9	237,77	212,85	319,12	460,61

Предприятие по продаже и ремонту автомобилей также косвенно занимается продажей автомобильного оборудования и автозапчастей.

Категории надежности групп электроприемников выбраны согласно ПУЭ-7 и представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Категории надежности электроприемников

Электроприемник	Категория надежности	Питание	$P_y$	$P_{p.гр}$
Аварийное освещение	I	Питание от сети, автономное питание	1,0	1,0
Оборудование газовой котельной	I		9,8	9,8
Система пожаротушения и охранная сигнализация, автоматика	I		0,11	0,11
Рабочее освещение	II	Питание от сети, автономное питание не предусмотрено	15,6	12,01
Насосная станция	I, II		13,3	10,51
Вентиляция	I, II		68,1	62,65
Технологическое оборудование	II		103,45	0,61
Компрессорная установка	II		10,9	10,9
Архитектурная подсветка и уличное освещение	III		2,8	2,8
Помещения обслуживающего персонала и администрации	III		16,8	16,8
Распределительные сети	II, III		44,4	35,08

Вывод по разделу.

При проведении расчета электрических нагрузок была получена полная мощность электроприемников предприятия по продаже и ремонту автомобилей, которая составляет 319,12 кВА. Компенсация реактивной мощности не требуется согласно требованиям нормативно-технической документации.

На данном предприятии используются электроприемники различных категорий надежности (таблица 2). В составе некоторых групп используются электроприемники разных категорий надежности. Насосная станция используется помимо подачи воды также для системы пожаротушения, которая относится к первой категории надежности. Система вентиляции также имеет в своем составе оборудование дымоудаление, которое относится к первой категории надежности.

На основании полученных данных, будет проведен выбор трансформаторов.

## 2 Расчет освещения

Для качественного внутреннего и наружного освещения рассмотрим осветительную продукцию марки «GALAD» [11]. Расчет будем проводить согласно общеизвестных формул.

На территории предприятия по продаже и ремонту автомобилей используется внутреннее искусственное освещение и наружное освещение. Расчет наружного и архитектурного освещения проведем по площади территории укрупненно.

Внутреннее эвакуационное освещение может работать автономно с использованием ИБП [20].

«В помещениях, где необходим обзор окружающего пространства (например, концертные, зрительные залы, фойе театров, рекреации), а также в помещениях, к которым предъявляют специальные архитектурно-художественные требования (например, торговые залы магазинов, выставочные залы), нормируют цилиндрическую освещенность» [8].

В помещении по продаже автозапчастей будет использовано цилиндрическое освещение в связи с формой зданий.

Нормируемые значения освещенности  $E_{\text{норм}}$  указаны в СП52.13330.2016, следовательно табличные значения используем для расчета числа светильников. Монтаж выключателей предусматривается в помещениях на отметке 1,2м от уровня пола.

Исходными данными являются параметры помещения (длина, ширина, высота). Используя размеры, рассчитаем индекс каждого помещения:

$$i = \frac{F}{h \cdot (m + v)} \quad (5)$$

где  $m$ ,  $v$  – длина и ширина помещения соответственно, м;

$F$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;

$h$  – высота установки светильника от уровня земли, м.

Высоту установки светильника от уровня земли примем 2,8 м.

Коэффициенты отражения помещений предприятия по продаже и ремонту автомобилей примем 70/50/30 для поверхностей потолка, стен и пола соответственно.

Коэффициенты неравномерности помещений для всех помещений  $t = 1,1$ . Коэффициенты запаса для помещений предприятия по продаже и ремонту автомобилей  $K_3 = 1$ .

Расчеты индексов помещений предприятия по продаже и ремонту автомобилей, представленные в таблице 3, позволяют определить коэффициент использования светодиодных светильников.

Значение освещенности для каждого светильника определим исходя из данных каталогов производителя. Далее занесем в таблицу 3 значения освещенности и проведем расчет числа светильников для всех помещений предприятия по продаже и ремонту автомобилей.

Количество светильников на каждое помещение предприятия по продаже и ремонту автомобилей:

$$N_{\text{св}} = \frac{E_{\text{норм}} \cdot F \cdot K_3 \cdot t}{\Phi_{\text{св}} \cdot \theta} \quad (6)$$

На предприятии по продаже и ремонту автомобилей имеются помещения, в которых присутствует повышенный уровень влажности. В соответствии с этим необходима установка светильников классом защиты минимум IP54 [14].

К влажным помещениям предприятия относятся помещения, где проводится мойка покрасочные работы автомобильного транспорта, санузлы сотрудников администрации, а также душевые ремонтного и обслуживающего персонала.

Количество светильников на помещение занесем в таблицу 4.

Таблица 3 – Расчет освещения автопредприятия

Наименование помещения	$a$	$b$	$E_{\text{норм}}$	$i$	$\theta$	$\Phi_{\text{св}}$	$N_{\text{св}}$	Светильник
	м	м	Лк	–	–	Лм	шт	
Помещения первого этажа								
Техническое помещение-1.1	6,2	4,22	200	0,90	38	3750	4	GALAD Арклайн Эконом LED
Мойка автомобильного транспорта	7,55	10,22	200	1,56	54	3750	8	GALAD Арклайн Эконом LED
Приемка	12,1	11,82	200	2,15	60	3750	14	GALAD Арклайн Эконом LED
Помещение серверов	4,5	1,42	400	0,39	26	3600	3	GALAD Эконом LED
Офисные помещения 1	4,48	2,44	300	0,56	26	3600	4	GALAD Эконом LED
Офисные помещения 2	4,49	2,34	300	0,55	26	3600	4	GALAD Эконом LED
Охрана	4,5	4,52	300	0,81	38	3750	5	GALAD Арклайн Эконом LED
Касса №1	2,22	3,02	300	0,47	26	1600	5	GALAD Термит LED
Касса №2	0,75	2,02	300	0,21	26	1600	1	GALAD Термит LED
Коридор-1.1	1,28	12,02	100	0,41	26	3600	2	GALAD Эконом LED
Коридор-1.2	0,92	4,7	100	0,28	26	3600	1	GALAD Эконом LED
Техническое помещение-1.2	12,14	11,91	200	2,16	60	3750	14	GALAD Арклайн Эконом LED
Склад	2,89	2,91	300	0,53	26	3600	3	GALAD Эконом LED
С/у- 1.1+подсобная	2,89	3,16	150	0,53	26	1600	4	GALAD Термит LED
С/у- 1.2+подсобная	2,89	3,16	150	0,53	26	1600	4	GALAD Термит LED
Малый зал №1	1,94	19,01	300	0,64	30	2850	14	GALAD Пиксель LED
Большой зал №2	3,79	14,51	300	1,07	43	2850	15	GALAD Пиксель LED
Малый зал №3	2,99	2,01	300	0,44	26	2850	3	GALAD Пиксель LED
Большой зал №4	4,99	3,01	300	0,66	30	2850	6	GALAD Пиксель LED

Продолжение таблицы 3

Наименование помещения	<i>a</i>	<i>b</i>	$E_{норм}$	<i>i</i>	$\theta$	$\Phi_{св}$	$N_{св}$	Светильник
	м	м	Лк	–	–	Лм	шт	
Помещения первого этажа								
Слесарная №1	18,19	21,06	300	3,48	68	3750	50	GALAD Арклайн Эконом LED
Слесарная №2	11,64	4,51	300	1,15	46	3750	10	GALAD Арклайн Эконом LED
Слесарная №3	10,29	10,61	300	1,86	57	3750	17	GALAD Арклайн Эконом LED
Колерная-1	3,19	5,91	300	0,73	34	3600	5	GALAD Эконом LED
Кузовной цех №1	8,84	5,91	200	1,25	48	3750	6	GALAD Арклайн Эконом LED
Кузовной цех №2	12,14	22,01	200	2,78	64	3750	24	GALAD Арклайн Эконом LED
Помещения второго этажа								
Техническое помещение-2.1	6,19	4,21	200	0,88	38	3750	4	GALAD Арклайн Эконом LED
Офисное помещение-2.1	4,49	4,91	300	0,83	38	3600	5	GALAD Эконом LED
Колерная-2	3,19	5,91	300	0,75	34	3600	5	GALAD Эконом LED
Коридор-2.1	7,19	1,51	100	0,46	26	3600	1	GALAD Эконом LED
Коридор-2.2	1,19	9,51	100	0,39	26	3600	1	GALAD Эконом LED
С/у-2.1	2,79	3,16	150	0,54	26	3750	1	GALAD Термит LED
Раздевалка-2.1	4,84	5,81	200	0,95	40	3600	4	GALAD Эконом LED
Раздевалка-2.2	1,89	5,81	200	0,52	26	3600	3	GALAD Эконом LED
С/у-2.2	1,89	1,91	150	0,33	26	3750	1	GALAD Термит LED
Зал совещаний	3,79	3,41	200	0,63	30	3600	3	GALAD Эконом LED
Столовая	3,49	4,51	200	0,69	34	3600	3	GALAD Эконом LED

Продолжение таблицы 3

Наименование помещения	<i>a</i>	<i>b</i>	$E_{норм}$	<i>i</i>	$\theta$	$\Phi_{св}$	$N_{св}$	Светильник
	м	м	Лк	–	–	Лм	шт	
Помещения второго этажа								
Кабинет руководителя	4,19	4,21	300	0,75	34	3600	5	GALAD Эконом LED
Кабинет заместителя	4,09	4,11	300	0,73	34	3600	5	GALAD Эконом LED
Кабинет главного инженера	4,09	4,11	300	0,73	34	3600	5	GALAD Эконом LED
Коридор-2.3	1,64	10,51	100	0,51	26	3600	2	GALAD Эконом LED
Торговая площадь	13,99	23,51	300	3,13	68	3600	44	GALAD Эконом LED
Площадка	12,49	12,51	300	2,23	60	2850	30	GALAD Пиксель LED

Паспортные данные светильников представлены в таблице ниже.

Таблица 4 – Технические данные светильников

Технический параметр светильника	GALAD Пиксель LED	GALAD Эконом LED	GALAD Термит LED	GALAD Арклайн Эконом LED
Световой поток, Лм	2850	3600	1600	3250
Мощность, Вт	30	35	18	32
Светоотдача, лм/Вт	95	103	89	102
Степень защищенности от воды и влаги по стандарту IP	40	40	65	20
Масса, кг	1,9	5,2	1,8	2,3

Цветовая температура светильников (таблица 4), составляет 4500К, а коэффициент мощности – 0,97.

Габаритные параметры монтируемого светильника типа: GALAD  
Пиксель LED (рисунок 1).

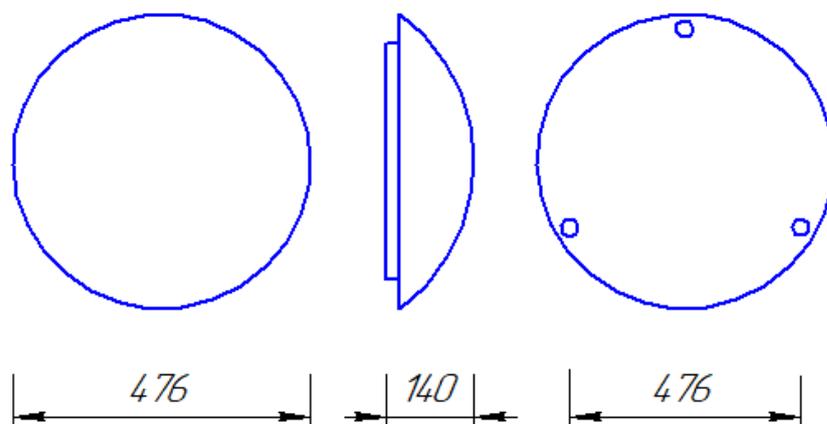


Рисунок 1 – Габариты GALAD Пиксель LED

Кривые силы света (КСС) монтируемого светильника типа: GALAD  
Пиксель LED (рисунок 2).

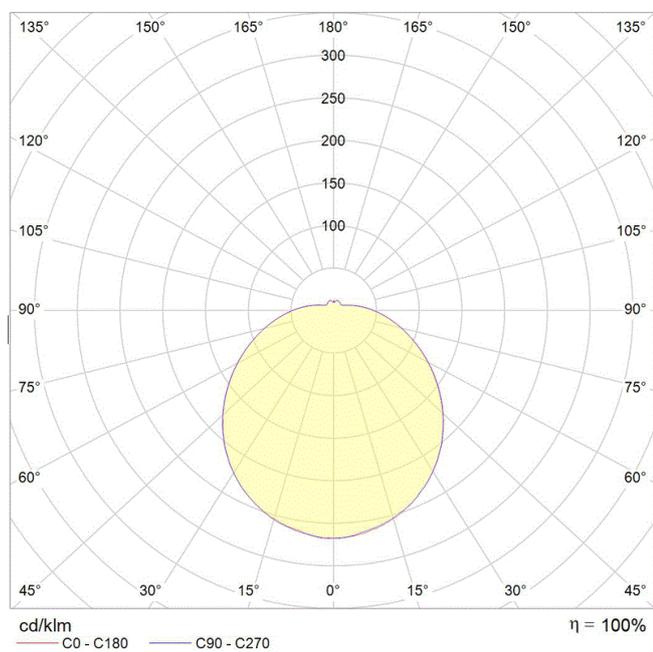


Рисунок 2 – КСС светильника GALAD Пиксель LED

Габаритные параметры монтируемого светильника типа: GALAD  
эконом LED (рисунок 3).

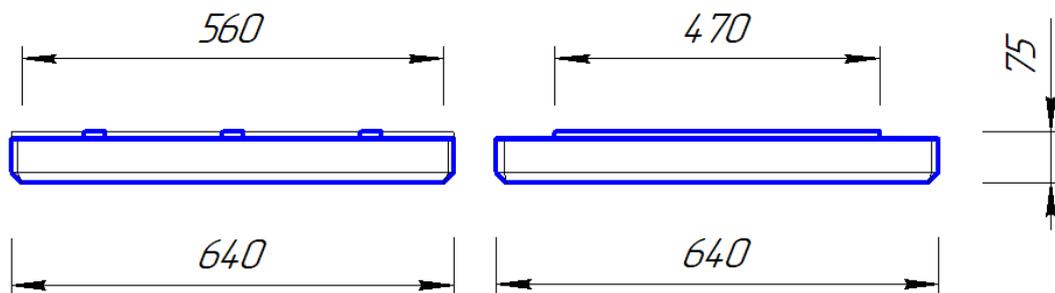


Рисунок 3 – Габариты GALAD Эконом LED

Кривые силы света монтируемого светильника типа: GALAD Эконом  
LED (рисунок 4).

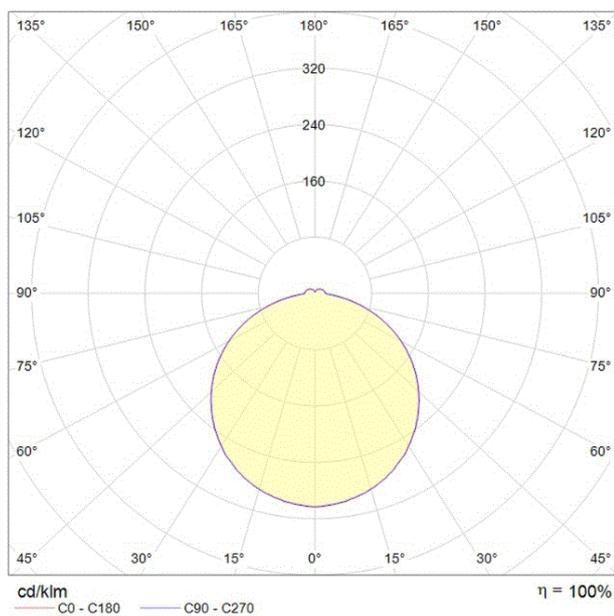


Рисунок 4 – КСС светильника GALAD Эконом LED

Габаритные параметры монтируемого светильника типа: GALAD  
Термит LED (рисунок 5).

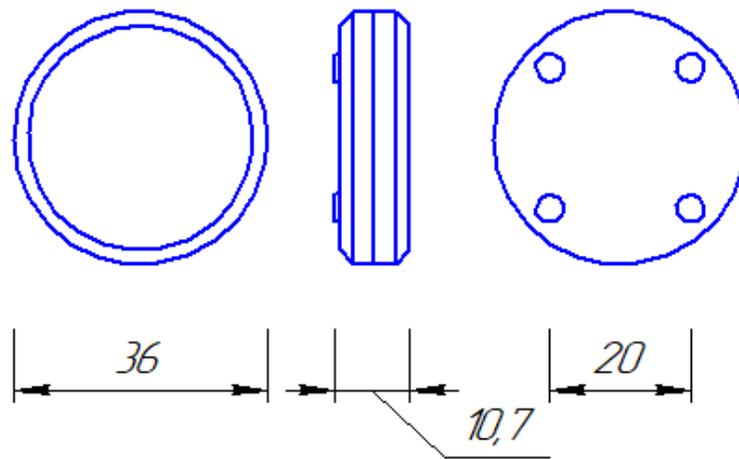


Рисунок 5 – Габариты GALAD Термит LED

Кривые силы света монтируемого светильника типа: GALAD Термит LED (рисунок 6).

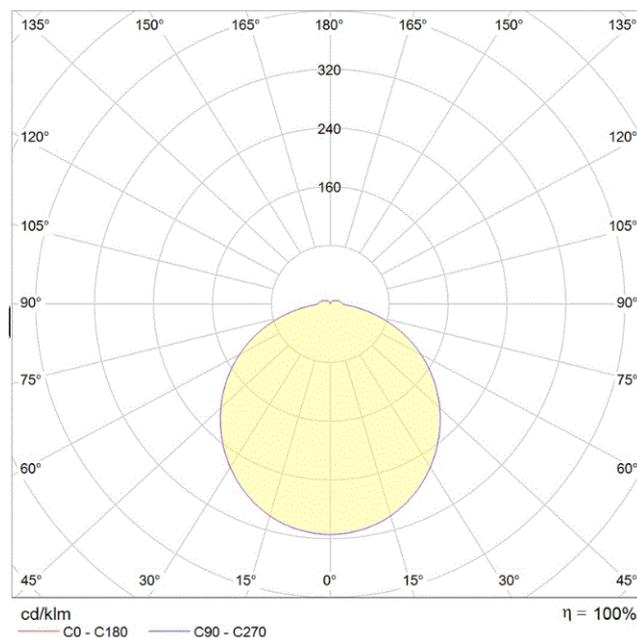


Рисунок 6 – КСС светильника GALAD Термит LED

Габаритные параметры монтируемого светильника типа: GALAD Арклайн Эконом LED (рисунок 7).

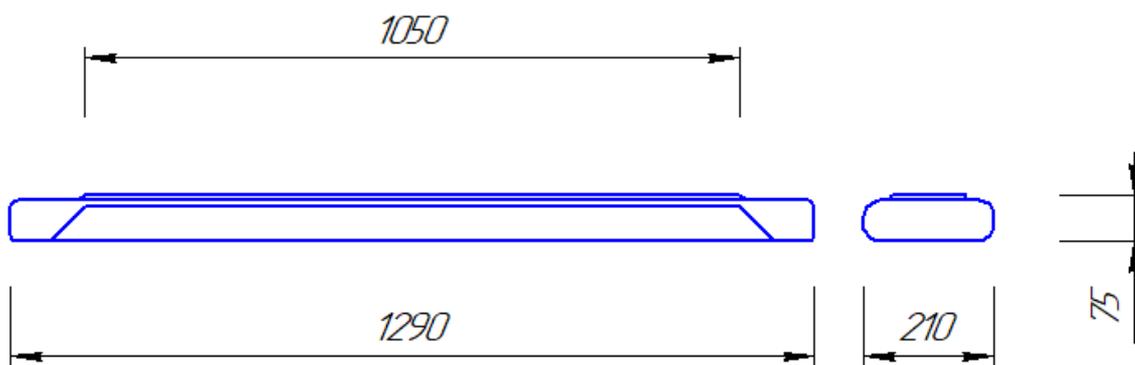


Рисунок 7 – Габариты GALAD Арклайн Эконом LED

Кривые силы света монтируемого светильника типа: GALAD Арклайн Эконом LED (рисунок 8).

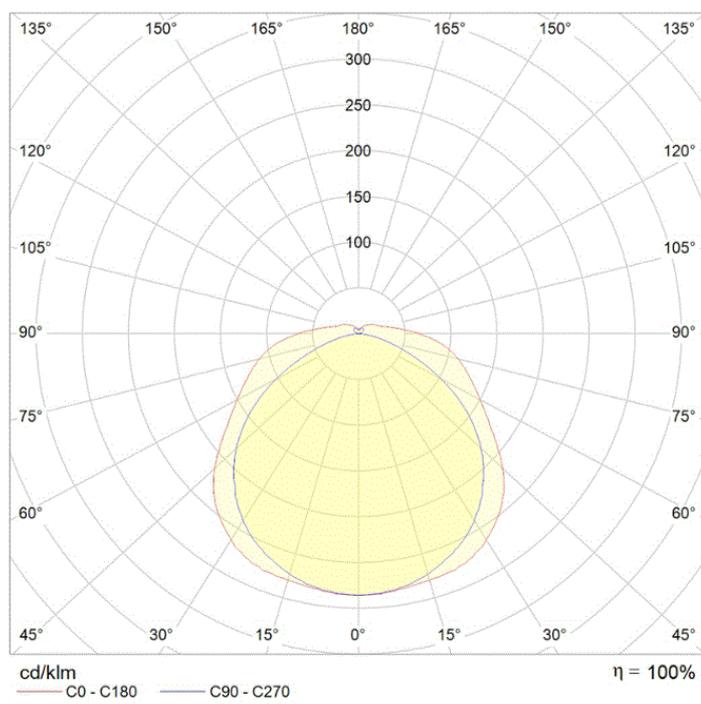


Рисунок 8 – КСС светильника GALAD Арклайн Эконом LED

Внутреннее освещение предприятия по продаже и ремонту автомобилей составляет нагрузку 16,6 кВт. Данная нагрузка включает в себя рабочее и аварийное освещение. Нагрузка освещения была определена с помощью расчетного числа светильников, активной мощности светильников.

Распределение светильников по предприятию проведем равномерно. Светильники GALAD Термит LED работают при повышенной влажности. Данный тип светильников необходимо установить во влажных помещениях [3].

Светильник типа GALAD Эконом LED будет использован в офисных помещениях, GALAD Арклайн Эконом LED – в наиболее крупных и объемных помещениях, а GALAD Пиксель LED – в помещениях руководителей и переговорных [3].

Вывод по разделу.

Расчет освещения предприятия по ремонту автомобильного транспорта проведен в соответствии с условиями эксплуатации светильников, требованиями нормативно-расчетных документов. Соблюдение данных требований необходимо для безопасной работы персонала, безотказной и стабильной работы системы освещения.

В результате расчета было определено количество и тип светильников, активная мощность внутреннего освещения каждого помещения автопредприятия. Общая нагрузка внутреннего освещения составила 16,6 кВт. По этому светильник типа GALAD Эконом LED будет использован в офисных помещениях, GALAD Арклайн Эконом LED – в наиболее крупных и объемных помещениях, а GALAD Пиксель LED – в помещениях руководителей и переговорных.

План расстановки светильников на двух этажах предприятия по продаже и ремонту автомобилей представлен на чертежах.

### 3 Выбор числа и мощности трансформаторов

На авторемонтном предприятии, согласно таблице 2, используются электроприемники различных категорий надежности электроснабжения. В целом, предприятие автотранспортной отрасли относится в большей степени к потребителям II категории надежности электроснабжения.

Электроснабжения авторемонтного предприятия осуществляется от внешних сетей электроснабжения напряжением 6кВ. Система заземления предприятия относится к типу TN-C-S [21].

В соответствии с вышесказанным, поскольку на объекте автотранспортной отрасли присутствуют ГЭ с I и II категориями надежности электроснабжения, то для питания предприятия по продаже и ремонту автомобилей выберем КТП с двумя трансформаторами.

Для выбора мощности трансформаторов необходимо провести соответствующие расчеты [22].

Полная мощность на один трансформатор:

$$S_{p.тр} = \frac{S_{p.гр.Σ}}{K_{з.тр} \cdot N_{тр}} \quad (7)$$
$$S_{p.тр} = \frac{319,12}{0,7 \cdot 2} = 227,31 \text{ кВА}$$

Ближайшим по мощности является трансформатор ТМГ250/6/0,4.

Для технико-экономического обоснования выбора двух трансформаторов ТМГ250/6/0,4 необходимо провести сравнение с двумя трансформаторами ТМГ400/6/0,4.

Технико-экономические данные трансформаторов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Техничко-экономические данные сравниваемых трансформаторов

Параметры трансформатора	$P_{\text{хх.т}}$	$P_{\text{кз.т}}$	$U_{\text{кз.т}}$	$I_{\text{хх.т}}$	Стоимость
	Вт	Вт	%	%	руб/шт
ТМГ250/6/0,4	580	3700	4,5	1,9	179 000
ТМГ400/6/0,4	740	6000	4,5	1	238 000

Внешний вид выбираемых комплектных трансформаторных подстанций (КТП) представлен на рисунке 9. Данная КТП может включать в себя трансформаторы мощностью 160-630 кВА.

Расшифровка обозначения 2КТПНУ 250/10(6)0,4:

- 2КТП – комплектная подстанция с двумя трансформаторами киоскового типа;
- НУ – установка наружная.



Рисунок 9 – Внешний вид 2КТПНУ 250/10(6)0,4

Число часов максимальных потерь за год работы трансформатора:

$$\delta_m = 8760 \cdot \left(0,124 + \frac{\sigma_{max}}{10000}\right)^2 \quad (8)$$

где « $\sigma_{max}$  – число часов использования максимума электрической нагрузки, ч» [14]. В нашем случае это 5300ч.

Годовые потери электроэнергии одного из двух трансформаторов:

$$\Delta W_{год.т} = \Delta P_{xx.т} \cdot T_т \cdot n_т + \Delta P_{кз.т} \cdot \left(\frac{S_{р.гр\Sigma}}{S_{н.тр}}\right)^2 \cdot \delta_m \cdot \frac{1}{n_т} \quad (9)$$

где  $T_т$  – количество рабочих часов трансформатора, ч/год.

Денежные издержки одного трансформатора:

$$И_{год.т} = \rho_{a.т} \cdot K_т + \left(\frac{\gamma}{\sigma_{max}} + \vartheta\right) \cdot \Delta W_{год.тр} \cdot 10^{-5} \quad (10)$$

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

$\gamma$  – стоимость 1 кВт мощности по договору;

$\vartheta$  – стоимость дополнительного кВт·ч по счетчику;

$K_т$  – стоимость трансформатора, тыс. руб.

Денежные затраты на приобретение трансформатора:

$$З_т = p_{н.т} \cdot K_т + И_{год.т} \quad (11)$$

где « $p_{н.т}$  – показатель экономической эффективности» [14].

Результаты вычислений занесем в таблицу 6.

Таблица 6 – Техническое и экономическое сравнение вариантов

Параметр	Ед. изм.	ТМГ 250/6/0,4	ТМГ 400/6/0,4
$K_{з.тр}$	–	0,64	0,4
$\delta_m$	ч/год	3747	3862
$\Delta W_{год.т}$	кВт·ч	21457	20339
Игод.т	тыс. руб	16,85	22,33
$p_{н.г} \cdot K_t$		21,48	28,56
З		38,33	50,89

Вывод по разделу.

В ходе проведения технико-экономического обоснование были получены следующие результаты: комплектная подстанция с двумя трансформаторами ТМГ250/6/0,4 оказалась выгоднее 2КТПНУ 400/6/0,4 для электроснабжения предприятия по продаже и ремонту автомобилей.

Далее необходимо провести расчет токов короткого замыкания (ТКЗ).

## 4 Определение ТКЗ

### 4.1 Определение ТКЗ выше 1 кВ

Для проведения расчета ТКЗ необходимо воспользоваться расчетными формулами и методиками нормативно-технических документов, и требованиями ГОСТ. Расчёт проведем в относительных единицах (о.е.). Расчетная схема и схема замещения представлены на рисунке 10 слева и справа соответственно.

«Мощность трехфазного короткого замыкания сети с  $S_c=500$  МВА,  $U_6=6,3$  кВ,  $S_6=1000$  МВА» [7].

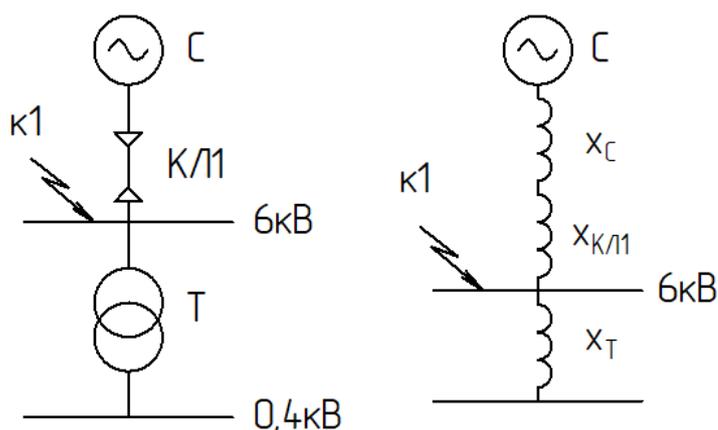


Рисунок 10 – Расчетная схема и схема замещения

Ток от системы до КТПНУ:

$$I_{c/тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (12)$$
$$I_{c/тр} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 22,91 \text{ А}$$

«Для электроснабжения предприятия проложим в траншее кабельную линию с поясной бумажной изоляцией (пропитанная вязким изоляционным составом) и алюминиевыми жилами» [10].

«Сечение по экономической плотности тока  $J_{\text{эк}}=1,1 \text{ А/мм}^2$ » [13]:

$$S_{\text{с/тр}} = \frac{I_{\text{с/тр}}}{J_{\text{эк}}} \quad (13)$$

$$S_{\text{с/тр}} = \frac{22,91}{1,2} = 19,09 \text{ мм}^2$$

Ближайшим номинальным сечением является 25 мм<sup>2</sup>. Согласно ПУЭ, для ААБл 3×25-6 допустимый ток составляет 100 А. При аварийном отключении одного трансформатора кабель выдержит проходящий ток [16].

«Активное сопротивление кабеля  $r_{\text{уд.1}}=1,24 \text{ Ом/км}$  и индуктивное сопротивление кабеля  $x_{\text{уд.1}}=0,091 \text{ Ом/км}$ » [10]. Длина кабельной линии от точки питания до КТПНУ равна  $l_{\text{кл.1}}=1,5 \text{ км}$  [17].

Активное и индуктивное сопротивление кабеля:

$$r_{\text{кл.1}} = r_{\text{уд.1}} \cdot l_{\text{кл.1}} \quad (14)$$

$$r_{\text{кл.1}} = 1,24 \cdot 1,5 = 1,86 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{кл.1}} = x_{\text{уд.1}} \cdot l_{\text{кл.1}} \quad (15)$$

$$x_{\text{кл.1}} = 0,091 \cdot 1,5 = 0,14 \text{ Ом}$$

Формулы приведения сопротивлений ВН к ступени НН:

$$r_{\text{кл.1}} = r_{\text{кл.1}} \cdot \left( \frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}} \right)^2 \quad (16)$$

$$x_{\text{кл.1}} = x_{\text{кл.1}} \cdot \left( \frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}} \right)^2 \quad (17)$$

В результате по формулам получаем, что для кабеля ААБл 3×25-6:

$$r_{\text{кл.1}}=2,7 \text{ мОм}; x_{\text{кл.1}}=0,46 \text{ мОм.}$$

Сопротивление кабельной линии в о.е.:

$$x_{\text{КЛ.16}} = x_{\text{КЛ.1}} \frac{S_6}{U_{\text{ВН}}^2} \quad (18)$$
$$x_{\text{КЛ.16}} = 0,14 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 3,52 \text{ о.е.}$$

Сопротивление системы в о.е.:

$$x_{\text{с.6}} = \frac{S_6}{S_{\text{сист}}} \quad (19)$$
$$x_{\text{с.6}} = \frac{1000}{500} = 2 \text{ о.е.}$$

Сопротивление цепи от системы до точки К1:

$$x_{\text{рез.6}} = x_{\text{с.6}} + x_{\text{КЛ.16}} \quad (20)$$
$$x_{\text{рез.6}} = 2,0 + 3,52 = 5,52 \text{ о.е.}$$

Базисный ток до точки К1:

$$I_6 = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot U_6} \cdot S_6 \quad (21)$$
$$I_6 = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6,3} \cdot 1000 = 91,64 \text{ кА}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей ТКЗ до точки К1:

$$I_{n.0} = \frac{E_6 \cdot I_6}{x_{\text{рез.6}}} \quad (22)$$
$$I_{n.0} = \frac{1 \cdot 91,64}{5,52} = 16,6 \text{ кА}$$

Ударный ток в точке К1:

$$i_{уд,К1} = \sqrt{2} \cdot I_{н.0} \cdot K_{уд,К1} \quad (23)$$
$$i_{уд,К1} = \sqrt{2} \cdot 16,6 \cdot 1,4 = 32,87 \text{ кА}$$

В результате на стороне выше 1кВ в точке К1 получаем  $i_{уд,К1}=32,87$  кА.

## 4.2 Определение ТКЗ ниже 1 кВ

Составим расчетную схему и схему замещения цепи с указанием точек КЗ (рисунок 11).

Ток, протекающий от КТПНУ до предприятия по продаже и ремонту автомобилей, определяется по следующей формуле:

$$I = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 360,85 \text{ А}$$

«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  $r_{ТА}=0,42$  мОм,  $x_{ТА}=0,67$  мОм. Активное сопротивление контактов  $r_{к}=0,1$  мОм» [2].

Сопротивление системы для ступени НН:

$$x_{с.НН} = \frac{U_{НН}^2}{S_{сист}} \quad (24)$$
$$x_{с.НН} = \frac{400^2}{500} \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ мОм}$$

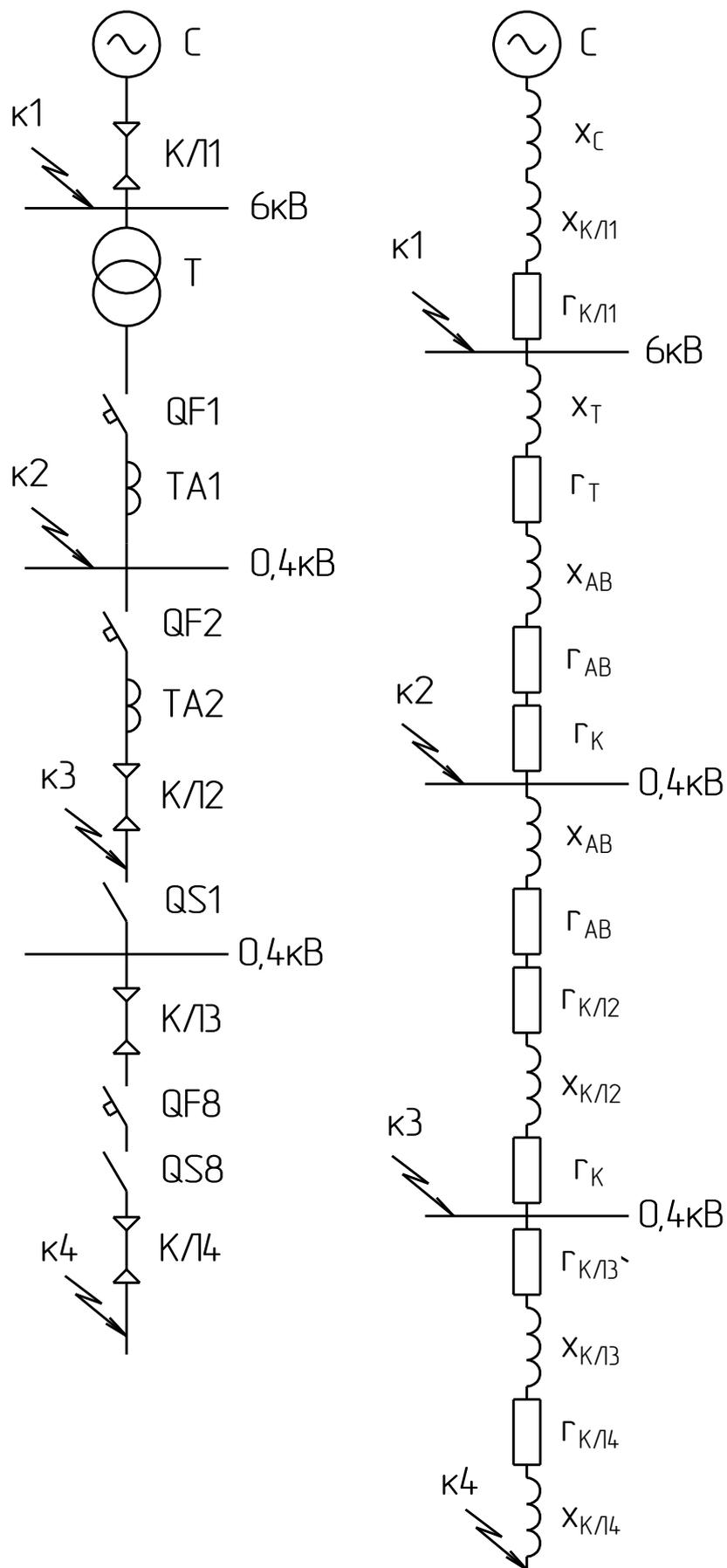


Рисунок 11 – Расчетная схема и схема замещения

Активное и индуктивное сопротивления ТМГ250/6/0,4 [6]:

$$r_T = \frac{P_{кз.т} \cdot U_{нн}^2}{S_{н.тр}^2} \cdot 10^6 \quad (25)$$

$$r_T = \frac{3,7 \cdot 0,4^2}{250^2} \cdot 10^6 = 9,47 \text{ МОм}$$

$$x_T = \sqrt{u_{кз.т}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{кз.т}}{S_{н.тр}}\right)^2} \cdot \frac{U_{нн}^2}{S_{н.тр}} \cdot 10^4 \quad (26)$$

$$x_T = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 3,7}{250}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{250} \cdot 10^4 = 27,20 \text{ МОм}$$

Сопротивление цепи от системы до точки К2:

$$r_{рез.2} = r_{кл.1} + r_T + r_K + r_{кв} + r_{ТА} \quad (27)$$

$$x_{рез.2} = x_{кл.1} + x_T + x_{кв} + x_{ТА} + x_C \quad (28)$$

Получаем следующие значения сопротивлений цепи:  $r_{рез.2} = 16,82 \text{ МОм}$ ,  
 $x_{рез.2} = 27,97 \text{ МОм}$ .

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

$$I_{n.0} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3 \cdot (r_{рез.2}^2 + x_{рез.2}^2)}} \quad (29)$$

$$I_{n.0} = \frac{400}{\sqrt{3 \cdot (13,86^2 + 29,19^2)}} = 4,13 \text{ кА}$$

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

$$\psi = \arctg\left(\frac{x_{сумм2}}{r_{сумм2}}\right) \quad (30)$$

$$\psi = \operatorname{arctg}\left(\frac{29,19}{13,86}\right) = 1,13$$

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

$$\zeta = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \psi}{\pi} \quad (31)$$

$$\zeta = 0,01 \cdot \frac{\frac{3,14}{2} + 1,13}{3,14} = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

«Постоянная времени затухания аperiodической составляющей ТКЗ» [2]:

$$T_{a.K} = \frac{x_{\text{рез.2}}}{r_{\text{рез.2}} \cdot \omega} \quad (32)$$

$$T_{a.K} = \frac{27,97}{16,824 \cdot 314} = 6,71 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

«Ударный коэффициент» [2]:

$$K_{\text{уд.К}} = \left(1 + \sin\psi \cdot e^{\frac{-\zeta}{T_a}}\right) \quad (33)$$

$$K_{\text{уд.К}} = \left(1 + \sin(1,13) \cdot 2,71^{\frac{-8,6 \cdot 10^{-3}}{6,71 \cdot 10^{-3}}}\right) = 1,25$$

Ударный ток по формуле 23:

$$i_{\text{уд.К}} = \sqrt{2} \cdot 4,13 \cdot 1,25 = 7,3 \text{ кА}$$

Расчет для точек К3 и К4 проводится аналогично, результаты которого приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет трехфазных КЗ автопредприятия

Точка	Элемент цепи	x	r	$I_{п.0}$	$\psi$	$\zeta$	$K_{уд}$	$i_{уд.К}$
		МОм	МОм	кА	рад	$10^{-3}$ с	–	кА
К1	Система	0,32	–	–	–	–	–	–
	КЛ от системы до КТПНУ	0,46	2,7	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	0,78	2,7	16,6	–	–	1,4	32,87
К2	Силовой трансформатор	27,2	9,47	–	–	–	–	–
	КЛ от КТПНУ до ВРУ (АПВБШп 5×240)	0,04	0,07	–	–	–	–	–
	Контакты	–	0,1	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	0,5	1,1	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	0,67	0,42	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	29,19	13,86	4,13	1,13	8,6	1,25	7,3
К3	Кабель	2,5	14,4	–	–	–	–	–
	Контакты	–	1	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	2	3,5	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	11	17	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	44,69	49,76	1,99	0,73	7,32	1,05	2,95
К4	Кабель	2,5	14,4	–	–	–	–	–
	Контакты	–	1	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	2	3,5	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	11	17	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	60,19	85,66	1,27	0,61	6,94	1,03	1,85

Вывод по разделу.

При расчете коротких замыканий было взято четыре точки: одна точка на стороне выше 1000 В, другие три – на стороне ниже 1000 В. Чем дальше точка возникновения КЗ, тем меньше ударный ток и начальное действующее значение периодической составляющей.

Данные результаты необходимы для выбора оборудования КТПНУ.

## 5 Проверочный расчет оборудования КТПНУ

### 5.1 Проверочный расчет силовых выключателей, разъединителей и трансформаторов тока

Чтобы проверить оборудование 2КТПНУ 250/10(6)0,4 [12] сделаем расчет термической и электродинамической стойкостей.

Ток термической стойкости точки К2:

$$B_K = I_{n.0}^2 (T_a + t_{п.в}) \quad (34)$$
$$B_K = 4,13^2 \cdot (6,7 + 30) \cdot 10^{-3} = 0,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

«Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\gamma = t_{рз} + t_{сво} \quad (35)$$
$$\gamma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

где  $t_{рз}$  – время срабатывания релейной защиты с;

$t_{сво}$  – время срабатывания выключателя на отключение, с» [19].

«Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ» [19]:

$$i_{a,\gamma} = \sqrt{2} \cdot I_{n.0} \cdot e^{\frac{-\gamma}{T_a}} \quad (36)$$
$$i_{a,\gamma} = \sqrt{2} \cdot 4,13 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{6,7}} = 5,8 \text{ кА}$$

«Номинальное значение аperiodической составляющей» [19]:

$$i_{a.н} = \sqrt{2} \cdot I_\delta \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \gamma}) \quad (37)$$
$$i_{a.н} = \sqrt{2} \cdot 7 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 13,11 \text{ кА}$$

где  $I_\delta$  – ток отключения выключателя, кА.

Результаты расчета представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Проверка параметров

Расчетный параметр	Сравниваемый параметр	Автоматический выключатель	Трансформатор тока	Разъединитель
$I_{max}=460$ А	$I_{раб}$	630 А	500 А	630 А
$I_{н.0}=4,13$ кА	$I_{\delta}$	7 кА	–	–
$i_{a,\gamma}=5,8$ кА	$i_{a..н}$	13,11 кА	–	–
$i_{уд.к}=7,3$ кА	$i_{пр.с}$	15 кА	15 кА	15 кА
$B_K=0,63$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_{K.ном}$	7 кА <sup>2</sup> ·с	7 кА <sup>2</sup> ·с	7 кА <sup>2</sup> ·с

Далее выберем кабели для предприятия по продаже и ремонту автомобилей.

## 5.2 Выбор кабелей

На стороне 6 кВ принимаем кабель марки ААБл 3×25-6. Кабель имеет следующую конструкцию:

- «Жила – алюминиевая.
- Оболочка – алюминиевая.
- Броня из стальных лент» [9].

От КТПНУ до ВРУ проложены от каждой секции по кабелю АПВБШп(А) 5×240, которые имеют следующую конструкцию:

- «А – Алюминиевая токопроводящая жила
- Пв – Изоляция жил из сшитого полиэтилена
- Б – броня из двух стальных оцинкованных лент
- Шп – защитный шланг из сшитого полиэтилена» [10].

Для соблюдения требований пожаробезопасности выберем кабели для прокладки в помещениях типа ВВГнг(А)-FRLS [4].

Выбор кабелей распределительной сети представлен на чертеже [5]. Автоматические выключатели выбираем исходя из сечений кабелей [1]. В таблице 9 приведены результаты расчет площадей сечения кабелей и автоматических выключателей.

Таблица 9 – Расчет площадей сечения кабелей и автоматических выключателей

Потребитель	$l_{\text{кл}}$	$P_{\text{уст}}$	$I_{\text{раб}}$	$F_p$	$F$	$I_n$
	м	кВт	А	мм <sup>2</sup>	мм <sup>2</sup>	А
ЩРО	11	20,39	10,20	16	16	20,39
ЩО11	12	5,17	2,58	4	4	5,17
ЩО12	12	3,34	1,67	2,5	3	3,34
ЩО13	14	1,82	0,91	1,5	2	1,82
ЩО14	11	3,19	1,60	2,5	3	3,19
ЩО15	13	2,28	1,14	2,5	3	2,28
ЩО16	12	7,90	3,95	4	4	7,90
ЩРС	41	72,33	36,17	50	50	72,33
ЩС11	26	24,92	12,46	16	16	24,92
ЩС12	21	22,64	11,32	16	16	22,64
ЩС13	19	9,42	4,71	6	6	9,42
ЩС14	26	10,48	5,24	6	6	10,48
ЩАО	25/25	1,65	0,83	1,5	2	1,65
ЩАО11	16	0,61	0,30	1,5	2	0,61
ЩАО12	11	0,30	0,15	1,5	2	0,30
ЩАО13	14	0,15	0,08	1,5	2	0,15
ЩАО14	9	0,46	0,23	1,5	2	0,46
Шкаф управления вентиляционной системой	6/6	103,47	51,73	70	63	103,47
Шкаф управления компрессорной установкой	30	16,56	8,28	10	10	16,56
Шкаф управления оборудованием газовой котельной	32	9,8	14,89	7,44	10	10
Автоматика	32	5,9	8,96	4,48	6	6

Продолжение таблицы 9

Потребитель	$I_{кл}$	$P_{уст}$	$I_{раб}$	$F_p$	$F$	$I_n$
	м	кВт	А	мм <sup>2</sup>	мм <sup>2</sup>	А
Шкаф управления наружным освещением	7	2,8	4,25	2,13	4	4
Источник бесперебойного питания	32	4,9	7,44	3,72	4	4
Щит распределительный помещений обслуживающего персонала и администрации	46	16,8	25,52	12,76	16	16
Шкаф управления кондиционированием	51	9,2	13,98	6,99	10	10
Шкаф управления технологическим оборудованием	62	103,45	157,18	78,59	95	95
Шкаф управления насосами	51/51	13,3	20,21	10,10	16	16

К некоторым потребителем проложено по два кабеля, поскольку они запитаны от индивидуального блока питания и секций шин для повышения надежности электроснабжения.

Вывод по разделу.

Выбрано оборудование КТПНУ для обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения, рассчитаны сечения кабелей распределительной сети, а также выбраны на низкой стороне автоматические выключатели для защиты кабельных этих линий.

## 6 Расчет заземления и молниезащиты

«PEN и PE-проводники многожильных кабелей питающей и распределительной сети являются защитными проводниками.

В электрощитовой установить контур защитного заземления из металлической полосы 25×4 на высоте 0,4...0,6 м от уровня пола» [23].

Рассчитаем заземление по общеизвестным формулам.

Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{в.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2\pi L_{в.з}} \left( \ln \frac{2L_{в.з}}{d_{в.з}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{в.з} + L_{в.з}}{4 \cdot T_{в.з} - L_{в.з}} \right) \quad (38)$$
$$R_{в.з} = \frac{95}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,9} \left( \ln \frac{2 \cdot 2,9}{0,017} + 0,5 \ln \frac{8 + 2,9}{8 - 2,9} \right) = 33,4 \text{ Ом}$$

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

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

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

$T_{в.з}$  – заглубление, м.

Сопротивление горизонтально расположенного заземлителя:

$$R_{г.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2 \cdot \pi \cdot L_{г.з}} \cdot \ln \frac{2L_{г.з}^2}{b_{г.з} \cdot h_{г.з}} \quad (39)$$
$$R_{г.з} = \frac{95}{2\pi \cdot 19,7} \cdot \ln \frac{2 \cdot 19,7^2}{0,06 \cdot 0,4} = 7,97 \text{ Ом}$$

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

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

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

Полное сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{ni}n_i}{R_i}} \quad (40)$$

$$R_{з.у} = \frac{1}{\frac{25 \cdot 0,68}{33,4} + \frac{1 \cdot 0,68}{7,97}} = 1,68 \text{ Ом}$$

где  $n_i$  – число комплектов;

$k_{ni}$  – коэффициент использования.

«Сопротивление заземляющего устройства является допустимым, поскольку полученное значение составляет менее 4 Ом» [13].

«Тип системы заземления на вводе в здание – TN-C-S, а в распределительных и групповых сетях – TN-S» [13].

«Данные системы заземления построены с применением глухозаземленной нейтрали. Характеризуются подключением нулевого проводника (N) к контуру заземления. При этом первый тип, на вводе в здания, характеризуется объединением защитного проводника PE и нулевого N в один комбинированный нуль (PEN) с подстанции, подключенного к глухозаземленной нейтрали. На входе в здание PEN проводник разделяется на N и PE проводники. Система заземления в распределительных и групповых сетях является более безопасной, имеет разделенные защитные проводники PE и нулевые N» [24].

«Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части:

- нулевой защитный РЕ- или PEN-проводник питающей линии в системе TN;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах IT и TT;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п.» [13].

На рассматриваемом предприятии по продаже и ремонту автомобилей на втором этаже отсутствуют места прохождения тока в местах с повышенной влажностью, поэтому дополнительная система уравнивания потенциалов не предусмотрена.

«Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине (1.7.119-1.7.120) при помощи проводников системы уравнивания потенциалов» [13].

«Здание относится к обычным объектам по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения (к III категории по устройству молниезащиты). Кровля здания выполнена плоской. В качестве молниеприемника применяется молниеприемная сетка из полосовой стали 25×4, которая располагается на кровле. Молниеприемная сетка укладывается под слоем утеплителя(несгораемого) и гидроизоляции. Шаг ячеек сетки не должен превышать 10×10м. Узлы стальной сетки соединяются посредством сварки. Полосы сетки проходят по краю крыши (рисунок 12)» [15].

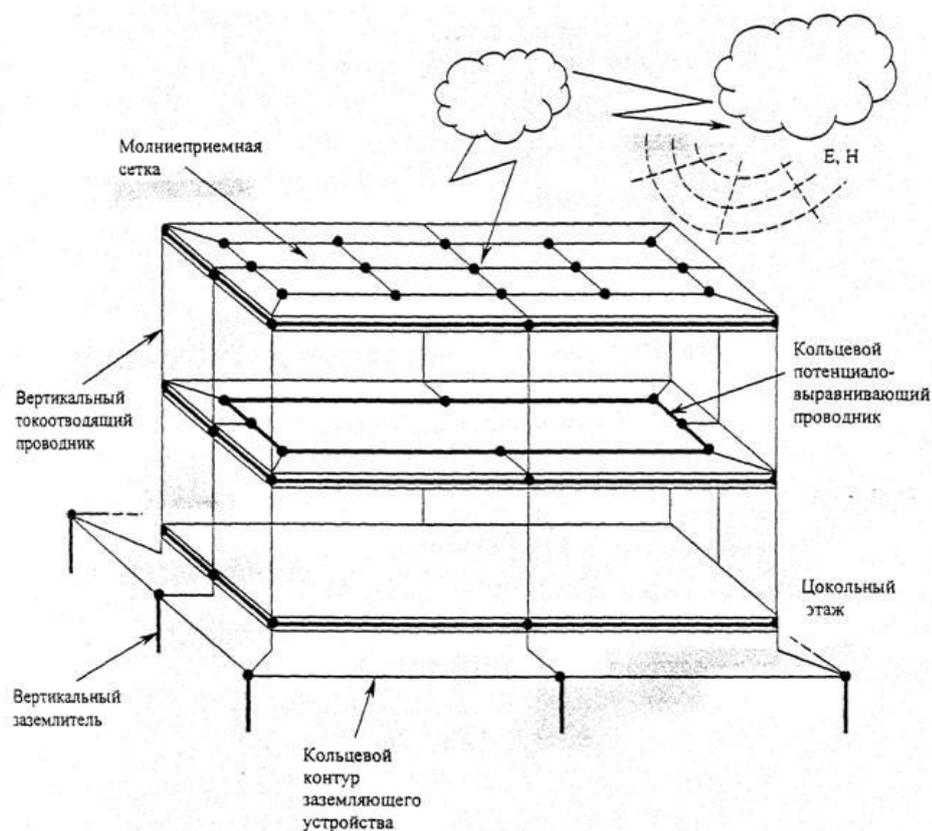


Рисунок 12 – Схема заземляющего контура и молниезащиты

Молниеприемная сетка обходимо выполнить так, чтобы ток молнии проходил по двум разным путям к заземляющему устройству. Металлические элементы конструкции предприятия по продаже и ремонту автомобилей, в частности над кровлей (дымоход газовой котельной, баннеры, оборудование связи) соединены с молниеприемной сеткой.

Вывод по разделу.

Рассчитанное заземляющее устройство удовлетворяет требованиям ПУЭ. Молниезащита автомобильного предприятия выполнена с соблюдением требований нормативных документов и правил.

## Заключение

В работе была спроектирована система электроснабжения предприятия по продаже и ремонту автомобилей.

Исходными данными являлись нагрузки электроприемников авторемонтного предприятия. На основании исходных данных были рассчитаны суммарные нагрузки ГЭ, которые позволили определить какие необходимы трансформаторы для электроснабжения предприятия по ремонту автомобилей.

На основании технико-экономического анализа были выбраны два трансформатора ТМГ250/6/0,4, которые используются в составе 2КТПНУ 250/10(6)0,4. В данном готовом решении уже предусмотрено всё необходимое оборудование, а также исключаются работы по монтажу, что позволяет снизить экономические затраты.

Расчет ТКЗ был проведен для четырех точек. На стороне 6 кВ значение периодической составляющей составило 16,6 кА, а ударный ток - 32,87 кА. На стороне 0,4 кВ, наибольшее значение начального действующего значения периодической составляющей составило 4,13 кА, а наибольший ударный ток стороны НН - 7,3 кА. По мере удаления точки КЗ снижались ударные токи и их начальная периодическая составляющая.

На основании расчета ТКЗ было проверено оборудование, предусмотренное в КТПНУ. Оборудование прошло проверку на термическую и электродинамическую стойкость. Далее, на стороне НН были выбраны кабели и автоматические выключатели.

Заключительным пунктом проводился расчет заземления и молниезащиты авторемонтного предприятия. Общественное здание относится к III категории по устройству молниезащиты. В данном пункте было рассчитано сопротивление заземляющего устройства с помощью сопротивлений горизонтальных и вертикальных заземлителей. Общее сопротивление заземляющего устройства составляет менее 4 Ом.

## Список используемых источников

1. Выбор автомата по мощности нагрузки и сечению провода [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <https://volgaproekt.ru/stati/vybor-avtomata-po-moshchnosti-nagruzki.html> (дата обращения: 20.09.2022).
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: 20.09.2022).
3. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Электронный ресурс] : Межгосударственный стандарт утв. приказом №191-ст от 12.07.2012. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-30494-2011> (дата обращения: 20.09.2022).
4. 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: 20.09.2022).
5. ГОСТ Р 50571.5.52-2011. Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки [Электронный ресурс] : Национальный стандарт РФ утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 13.12.2011 N 925-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092622> (дата обращения: 20.09.2022).
6. 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: 20.09.2022).
7. 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 12.12.2007. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200052838> (дата обращения: 20.09.2022).

8. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий [Электронный ресурс] : Национальный стандарт РФ утв. приказом №1364-ст от 08.11.2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 20.09.2022).

9. Кабель ААБл [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-kc.ru/> (дата обращения: 17.02.2022).

10. Кабель АПВБШп [Электронный ресурс] : Официальный сайт поставщика кабельной продукции Кабель.РФ. URL: <https://cable.ru/cable/> (дата обращения: 20.09.2022).

11. Каталог светильников «GALAD» [Электронный ресурс] : Официальный сайт международной группы компаний «GALAD». URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 20.09.2022).

12. Комплектные трансформаторные подстанции [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний «СвердловЭлектро». URL: <https://svel.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstantsii/> (дата обращения: 20.09.2022).

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

14. 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: 20.09.2022).

15. 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: 20.09.2022).

16. 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: 20.09.2022).

17. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа [Электронный ресурс] : Свод правил утв. Приказом Минстроя России от 29.08.2016 N 602/пр. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139957> (дата обращения: 20.09.2022).

18. 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: 20.09.2022).

19. Требования к релейной защите [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <https://pue8.ru/relejnaya-zashchita/238-trebovaniya-k-relejnoj-zashchite.html> (дата обращения: 20.09.2022).

20. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. Chemical Engineering Transactions vol.56, 2017. p.259-264.

21. 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.

22. Benthous 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.

23. 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.

24. 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. Energy Conversion and Economics. 2020. p.34-44.