

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 Проектирование системы электроснабжения торгового
развлекательного комплекса в городе Зеленогорск

Обучающийся

М.А. Пауков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Терентьев

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

Консультант

к.ф.н., доцент О.В. Мурдускина

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

Тольятти 2023

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) описана тема проектирования системы электроснабжения торгового развлекательного комплекса в городе Зеленогорск.

Пояснительная записка содержит общую характеристику проектируемого объекта; расчет силовых и осветительных нагрузок; выбор и проверка силовых трансформаторов, установок компенсации реактивной мощности и дизель-генератора; расчет токов коротких замыканий (КЗ) на стороне высокого и низкого напряжения; выбор и проверка электрощитового оборудования, управляющих, защитных, коммутационных и регулирующих устройств; выбор и проверка кабельной продукции, а также расчет заземляющих устройств.

Ключевой целью работы является подготовка проекта (проектирование) системы электроснабжения проектируемого объекта, располагаемый в городе Зеленогорск.

Пояснительная записка имеет объем в 80 страниц, включает в себя 25 таблиц и 10 рисунков. Графическая часть представлена на 6 листах формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is «Design of the power supply system of a shopping and entertainment complex in the city of Zelenogorsk».

As the title implies, the purpose of the work is to prepare a project (design) of the power supply system of a shopping and entertainment complex in the city of Zelenogorsk.

The senior thesis contains a general description of the projected object; calculation of power and lighting loads; selection and verification of power transformers, reactive power compensation units and diesel generator; calculation of short-circuit currents on the high and low voltage side; selection and verification of electrical switchboard equipment, control, protective, switching and regulating devices; selection and verification of cable products, as well as the calculation of grounding devices.

The graduation work has a volume of 80 pages, includes 25 tables and 10 figures. The graphic part is presented on 6 sheets of A1 format.

Содержание

Введение	5
1 Общая характеристика проектируемого объекта	7
2 Расчет силовых нагрузок	16
3 Расчет осветительных нагрузок.....	26
3.1 Расчет внутреннего освещения.....	26
3.2 Расчет фасадного освещения	39
3.3 Расчет наружного освещения	41
4 Расчет и выбор установок компенсации реактивной мощности	48
5 Выбор силовых трансформаторов и дизель-генератора	50
6 Выбор и проверка оборудования в сетях 0,4 и 6 кВ.....	54
6.1 Выбор оборудования релейной защиты, автоматики и щитового оборудования.....	54
6.2 Расчет токов коротких замыканий на стороне высокого и низкого напряжения. Проверка оборудования в РУ 0,4 и 6 кВ.	57
7 Расчет внутриплощадочных сетей электроснабжения.....	67
8 Молниезащита и заземление	72
Заключение	75
Список используемых источников.....	77

Введение

Среди множества направлений в энергетике любой страны фундаментально важным звеном является система электроснабжения торговых объектов. Потому как грамотно спроектированная система должна гарантировать надежность работы данного объекта, снабжаемого электроэнергией, будь это небольшой объект для розничной торговли или крупное торговое предприятие.

В представленной работе рассматривается тематика по электроснабжению торгового развлекательного комплекса. Актуальность работы обусловлена по нескольким причинам. В первую очередь торговые центры нужны для поддержания товарооборота, повышая потенциал для развития экономики в стране, а также для экономического роста и качества жизни населения.

Всем известно, что в начале 90-х страна столкнулась с серьезным дефицитом, товароборот был низким и малоразвитым, что сказалось на состоянии экономики, находившейся в упадке. Однако сейчас мы наблюдаем следующую картину: за последние 20 лет в стране наблюдается многократный подъем в экономике, объем товаров и услуг превысил в разы свои показатели. К примеру, в Самарской области объем ВРП (валовой региональный продукт) вырос на 4,5 %, что является максимальным значением за последние 10 лет. Благодаря этому фактору правительство готово финансово обеспечивать и развивать сферу торговли.

Следовательно, для дальнейшего развития экономики, товарооборота и товарно-денежных отношений необходимо обеспечивать торговые площадки, на которые производители будут поставлять свои товары, а покупатели, в свою очередь, могли бы их приобретать. К тому же на волне западных санкций в нашей стране активно развивается процесс импортозамещения. И для того, чтобы продвигать отечественный товар на рынке также необходимы соответствующие торговые точки и площадки.

Кроме того, развитие торговых центров способствует поднятию уровня благосостояния населения. Потому как любой гражданин имеет потребность в покупке желаемого товара, в следствии чего у него должна быть возможность прийти и купить это в соответствующем магазине. А лучше, если есть возможность приобрести сразу несколько товаров разных категорий в одном месте и здесь же, при желании, приятно провести время: прогуляться по торговому залу, посетить торговую галерею, посидеть в фуд-корте, сходить в кинотеатр или даже прокатиться на аттракционах.

В частности, важность развития торговых центров касается небольших городов и малых населённых пунктов. Существенной проблемой таких мест является малая доступность в торговых площадях. Люди, живущие в небольших городах, в окрестностях своего места проживания имеют поблизости только продуктовые магазины, рынки с хозяйственными товарами и аптеки, а за крупными покупками приходится выезжать в крупные города.

Именно эти проблемы решает постройка торгового развлекательного комплекса (ТРК) в одном из таких малонаселенных городов как Зеленогорск.

В связи с этим целью данной бакалаврской работы является подготовка проекта (проектирование) системы электроснабжения торгового развлекательного комплекса в городе Зеленогорск.

1 Общая характеристика проектируемого объекта

Рассматриваемым объектом проектирования является ТРК. Данный объект планируется построить на территории города Зеленогорск до конца 2025 года. Зеленогорск является городским округом Красноярского края и его население по состоянию на 2022 год составляет 61 150 человек. Зеленогорск расположен в северной строительно-климатической зоне. Среднемесячная температура воздуха наиболее теплого месяца (июль) равна плюс 18,7 °С, а наиболее холодного (январь) минус 16,0 °С. На территории города преобладают суглинистые почвы.

Земельный участок № 122Л, на котором будет проходить строительство занимает площадь 632 313 м² и имеет свой кадастровый номер – 24:59:0304001:311. Территориально участок расположен вдоль улицы Октябрьская. Его расположение отмечено на кадастровой карте (рисунок 1) и изображено на фото со спутника (рисунок 2).

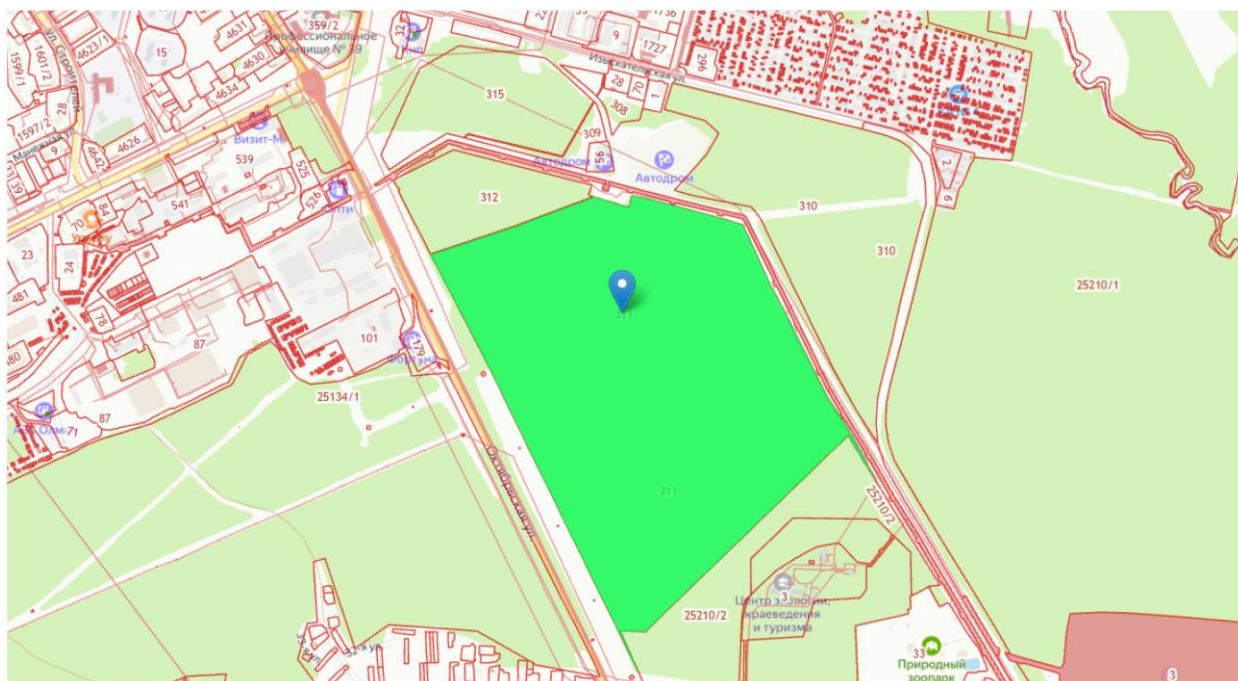


Рисунок 1 – План земельного участка на кадастровой карте



Рисунок 2 – Фото территории земельного участка со спутника

По результатам работы проектировщиков раздела ПЗУ – «Схема планировочной организации земельного участка» предполагается участок, представляющий собой площадку, территория которой будет освещена и иметь озеленение. На ней и будет расположено здание торгового развлекательного комплекса.

Площадь участка с благоустройством составляет 256 295 м², в составе которой входит: площадь застройки – 63 156 м², площадь покрытий – 134 559 м² и площадь озеленения – 58 580 м². Также внушительную часть территории занимает автостоянка на 2 659 парковочных мест, располагающаяся перед зданием торгового комплекса, имеется площадка с дизель-генераторной установкой, здание ИТП (индивидуальный тепловой пункт) с котельной, детский парк с аттракционами, а также автосервис и автомойка. Неподалеку будет построена новая остановка и организован проезд городского транспорта.

По результатам проектирования раздела АР – «Архитектурные решения» торговый комплекс представляет собой двухэтажное здание с металлическим каркасом высотой 11 метров и площадью 34 158 м². Здание

имеет следующие размеры в плане: длина – 256,8 м, ширина – 157,16 м. Количество главных осей: 17 цифровых и 10 буквенных (с А по Л). Расстояние между основными осями составляет 16 м, за исключением нескольких осей (по цифровым осям: с 6 по 7 – 15,8 метров; по буквенным осям: с А по Б – 7,5 метров, с Д по И – 24 метров, с К по Л – 13,66 метров).

Общий вид компоновки здания и нумерация осей отображены на схеме (рисунок 3).

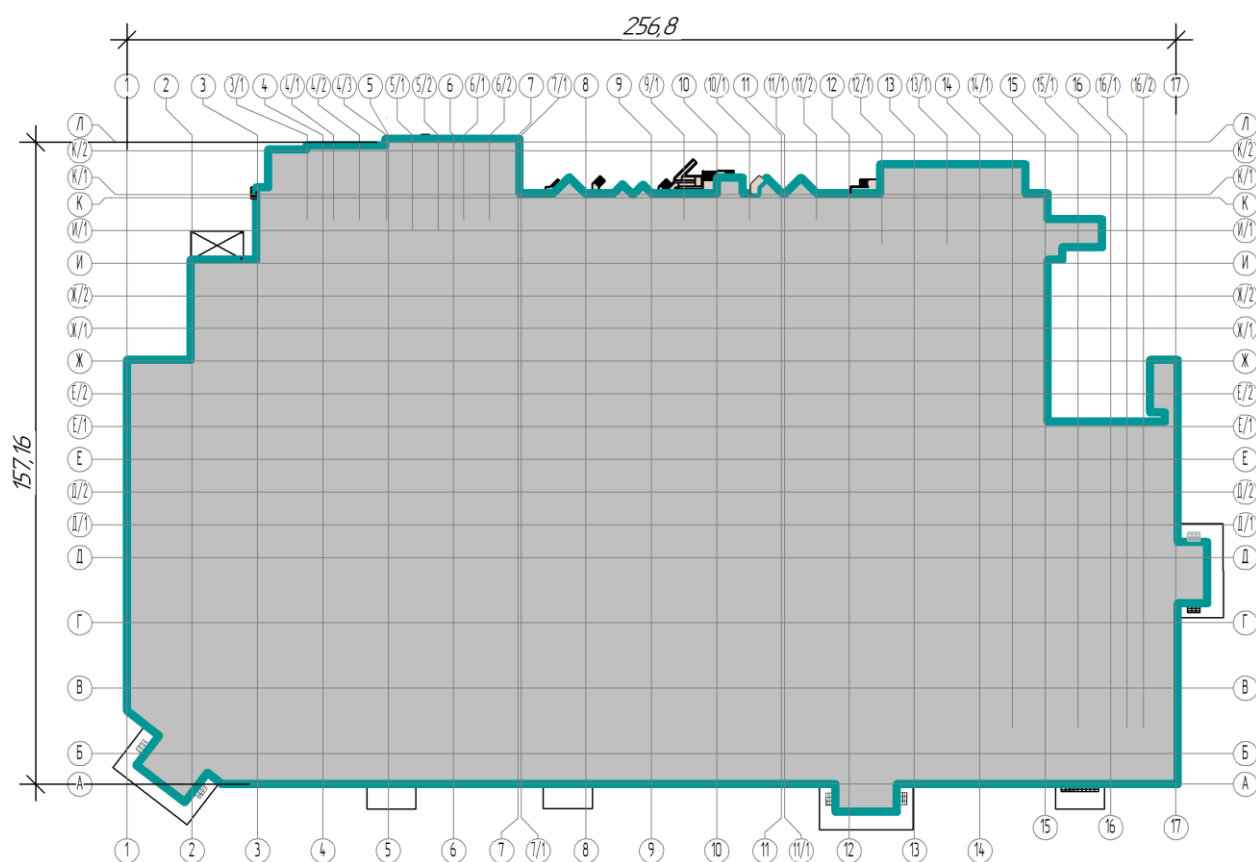


Рисунок 3 – Схема компоновки здания проектируемого объекта

Полный список всех помещений здания для первого и второго этажа представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Экспликация помещений торгового комплекса

№ на плане	Наименование помещения	Площадь S, м ²	Категория	№ на плане	Наименование помещения	Площадь S, м ²	Категория
1 этаж							
1.001	Коридор	1809,91	-	1.070	Магазин обуви В119	168,09	-
1.002	Фудкорт	1689,80	-	1.071	Коридор	66,30	-
1.003	Входной вестибюль	135,50	-	1.072	Магазин одежды Киаби В109	1672,38	-
1.004	Арендатор фудкорта В146	50,27	-	1.072.1	Тамбур	10,51	-
1.005	Арендатор фудкорта В147	49,08	-	1.073	Магазин Vacant В108	35,25	-
1.006	Арендатор фудкорта В148	50,27	-	1.074	Магазин женский одежды В106	70,56	-
1.007	Арендатор фудкорта В149	50,27	-	1.075	Магазин мужской одежды В105	145,65	-
1.008	Коридор	56,50	-	1.076	Магазин подарков В104	47,40	-
1.009	Электрощитовая	24,88	В3	1.077	Магазин одежды юнисекс В103	2230,00	-
1.010	Тех. пом. Иммошана	13,80	В4	1.078	Магазин В102	45,89	-
1.012	Доставка	20,07	В4	1.079	Входной вестибюль	105,61	-
1.013	Комната для выгрузки отходов	15,92	В4	1.080	Коридор	64,62	-
1.014	Гипермаркет электроники В150	1449,67	-	1.081	ЛК-3	17,45	-
1.015	Комната хранения декораций	255,96	В3	1.082	Тамбур	3,09	-
1.016	Технический коридор	73,95	-	1.083	Компакторная	57,75	В3
1.016.1	Технический коридор	139,01	-	1.083.1	Помещение для хранения ламп	4,50	В4
1.017	Арендатор фудкорта В145	114,24	-	1.084	Коридор	93,35	-
1.017.1	Свободное помещение	31,56	-	1.085	Доставка галереи	71,87	В3
1.018	Кафе В144-2	206,45	-	1.086	Доставка ресторана	32,92	В3
1.018.1	Парковки для тележек	12,62	-	1.091	Ресторан В153	333,97	-
1.018.2	Кафе В144-1	69,98	-	1.091.1	Банкомат	6,80	-
1.018.3	Магазин В144.3 хлебный двор	44,20	-	1.092	Изделия из кожи В135	75,53	-
1.019	Магазин обуви В143	89,68	-	1.093	Салон красоты В151	42,57	-
1.020	Игрушки В141	39,09	-	1.094	Аксессуары В152	35,59	-
1.021	Спортивная одежда В140	175,66	-	1.097	Помещение моечных машин	17,87	В4
1.022	Детская одежда В139	101,45	-	1.098	Коридор	45,97	-
1.023	Чулки-носки В138	57,23	-	1.099	Сейфовая комната	9,01	-
1.024	Глория Джинс В142	1404,39	-	1.100	Помещение ИБП	16,75	В3

Продолжение таблицы 1

№ на плане	Наименование помещения	Площадь S, м ²	Категория	№ на плане	Наименование помещения	Площадь S, м ²	Категория
1.025	Коридор	65,65	-	1.101	Мониторная. Пожарный пост	21,25	В3
1.026	Женская умывальная	20,11	-	1.102	Помещение охраны	5,85	-
1.026.1	Тамбур	8,18	-	1.103	Пропускной пункт	4,66	-
1.027	Техническое помещение	4,62	В4	1.104	ЛК-4	17,71	-
1.028	Женский санузел	22,48	-	1.105	Женская умывальная	15,33	-
1.029	Техническое помещение	3,40	В4	1.106	Женский санузел	23,57	-
1.030	Мужская умывальная	13,57	-	1.107	Тамбур	10,51	-
1.031	Мужской санузел	13,18	-	1.108	Туалет для инвалидов	5,97	-
1.033	ПУИ	4,64	В4	1.109	Техническое помещение	3,26	В4
1.034	Туалет для инвалидов	7,00	-	1.110	ПУИ	6,42	В4
1.035	Комната матери и ребенка	7,83	-	1.111	Мужской санузел	11,81	-
1.036	Техническое помещение	18,12	В4	1.112	Мужская умывальная	7,73	-
1.037	Коридор	163,96	-	1.113	Помещение хранения моющих средств	6,35	В4
1.038	Женское белье В137	54,58	-	1.114	Тамбур	3,25	-
1.039	Одежда юнисекс В136	129,90	-	1.128	Котельная	78,40	Г
1.040	Детская одежда В134	127,78	-	1.128.1	Санузел	2,48	-
1.041	Магазин В133	1303,44	-	1.129	ИТП гипермаркета	71,82	Д
1.042	Химчистка В154	7,62	В3	1.131	Водомерный узел гипермаркета	21,66	-
1.043	Оптика В131	54,95	-	1.133	Насосная	252,47	-
1.044	Обувь В130	368,79	-	1.134.1	Резервуар	82,54	-
1.045	Коридор	117,23	-	1.134.2	Резервуар	82,54	-
1.046	Обувной магазин В129	654,90	-	1.139	Холодоснабжение	18,22	В3
1.047	Входной вестибюль	113,52	-	1.140	Помещение хранения ламп	11,01	В3
1.048	Товары для кухни В128.1	41,19	-	1.141	Помещение уборочного инвентаря	52,82	В4
1.049	Ювелирные изделия В128	45,99	-	1.144	Санузел персонала	3,54	-
1.050	МТС В127	54,33	-	1.151	Санузел персонала	3,24	-
1.051	Магазин обуви В126	124,32	-	1.175	Моечная подносов	13,73	-

Продолжение таблицы 1

№ на плане	Наименование помещения	Площадь S, м ²	Категория	№ на плане	Наименование помещения	Площадь S, м ²	Категория
1.052	Профессиональная косметика В125	34,87	-	1.176	Коридор	14,29	-
1.053	Женская одежда В124	59,28	-	1.228	РУ	13,92	В3
1.054	Аксессуары. В123	19,80	-	1.229	БКТП помещение ГРЩ	20,19	В3
1.055	Ювелирные изделия Часы. В122	55,25	-	1.230	Трансформаторная 2	37,73	В3
1.056	Парфюмерия В120	211,56	-	1.231	Трансформаторная 1	13,92	В3
1.058	Коридор	326,69	-	1.232	Тамбур	5,30	-
1.058.1	Санузел персонала	2,01	-	1.233	Мастер минутка В101	16,83	-
1.059	Ювелирные изделия Часы. В113	40,29	-	1.234	Электрощитовая	17,02	В3
1.060	Товары для кухни. В112	28,51	-	1.235	Электрощитовая	13,68	В3
1.061	Обувь. В111	71,54	-	1.236	Электрощитовая	13,68	В3
1.062	Теле2 В110	38,11	-	1.238	Кладовая хоз. инвентаря	47,13	В3
1.065	Магазин одежды	237,92	-	1.239	РП	51,07	В3
1.066	Телефон.ру В115	48,30	-	А-1.014	Коридор	52,98	-
1.067	Магазин одежды юнисекс. В117	182,28	-	А-1.014.1	ЛК-1	29,18	-
1.067.1	Магазин косметики. В116	48,30	-	А-1.042	Коридор	57,19	-
1.069	Аптека Ригла. В118	77,45	-	А-1.043.1	ЛК-2	28,27	-
2 этаж							
2.01	ЛК-3	21,06	-	2.14	Гардеробная	20,74	-
2.02	Диспетчерская	21,67	В3	2.15	Кладовая	5,08	В4
2.03	Офис	15,61	-	2.16	Переговорная	24,74	-
2.04	Офис	15,73	-	2.17	Санузел для персонала	5,94	-
2.05	Офис	14,89	-	2.18	Санузел для персонала	5,94	-
2.06	Комната для отдыха	23,34	-	2.19	Кабинет директора	15,21	-
2.07	Коридор	88,51	В3	2.20	Кабинет директора	14,61	-
2.08	Серверная	9,01	-	2.21	ЛК-4	21,49	-
2.09	Комната приема пищи	28,64	-	2.24	Офис	15,26	-
2.10	Гардеробная	20,37	-	2.24.1	Офис	10,64	-
2.11	Душевая	4,02	-	2.25	Ресторан. В153	217,44	-
2.12	Душевая	4,02	-	2.25.1	ЛК-6	6,40	-
2.13	ПУИ	6,42	В4	2.30	Электрощитовая	14,27	В3

Первый этаж здания имеет общую площадь 18 024 м², состоящий из 144 помещений согласно плану и представляет собой торговую галерею с гипермаркетом, фуд-кортом и магазинами арендаторов.

Второй этаж располагается на отметке +5,100 относительно пола первого этажа и состоит из 28 помещений, в числе которых имеются подсобные помещения, офисы, административно-бытовые помещения (диспетчерская, кабинет директора, комната для отдыха персонала и т.д.) с общей площадью 651,05 м².

Фасад здания обшивается композитными сэндвич-панелями. Композитные панели являются трехслойной конструкцией с двумя обшивками из алюминиевого листа с защитно-декоративным покрытием и сердцевиной из монолитного полиэтилена. Каркас здания, в состав которого входят колонны, перекрытия, пилоны, выполнен из монолитного железобетона. На входе имеется фасадное остекление. В темное время суток включается архитектурная подсветка фасада.

Среди электрических нагрузок помимо электрического освещения (как внешнего уличного, так и внутреннего), в помещениях здания предусматривается установка бытовых розеток для подключения кассовых аппаратов, уборочных машин и прочих устройств, банкоматы и терминалы, приточная вентиляция с оборудованной секцией охлаждения, отдельный ввод для питания потребителей фуд-корта, в число которых входят печи, электроплиты, холодильники и прочее технологическое оборудование.

Так как в торговом комплексе имеется три входных тамбура, то с целью создания аэродинамического барьера от попадания холодного воздуха из внешней среды для них предусматривается тепловая завеса. Также имеются руфтопы (крышные кондиционеры) и сплит системы, выполняющие комплексную обработку воздуха.

При этом в помещениях торгового комплекса с массовым пребыванием людей обязательно предусматривается система дымоудаления с огнезадерживающими клапанами и блок-вентилятором.

Кроме этого, данный объект оснащается системой аварийного освещения, системой автоматической установки пожаротушения, системой пожарной сигнализации, и системой охранного видеонаблюдения на территории и внутри помещений.

Для обеспечения безопасности устанавливается автоматическая система противопожарной защиты объекта, в которую входят система оповещения и управления эвакуацией при пожаре, охранно-пожарная сигнализация, автоматическая установка пожаротушения спринклерного типа исполнения.

Величина силовых нагрузок (таких как бытовые розетки и т.п.) определяется по разделу ТХ («Технологическое решение»), световые нагрузки будут определяться по светотехническому расчету, вентиляция и тепловые завесы – раздел ОВ («Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»), данные о системах пожаротушения – раздел ВК («Водоснабжение и водоотведение»).

Исходя из этого, можно выделить основных потребителей электроэнергии здания:

- потребители I категории: аварийное и эвакуационное освещение, противопожарное оборудование и автоматика;
- потребители II категории: розеточные сети, рабочее освещение, технологическое и вентиляционное оборудование.

Объект будет относиться ко II категории надежности электроснабжения (согласно ПУЭ п.1.2.17-п.1.2.21 [14]). Следовательно, электроснабжение здания торговой галереи будет осуществляться по второй категории надежности от трансформаторной подстанции с двумя трансформаторами.

Достижение вышеописанной цели требует решения следующих задач:

- Расчет нагрузок как силовых, так и осветительных;
- Расчет и выбор установок компенсации реактивной мощности;
- Выбор силовых трансформаторов;
- Выбор электрощитового оборудования;

- Расчет токов коротких замыканий на стороне высокого и низкого напряжения;
- Выбор оборудования релейной защиты и автоматики;
- Расчет внутриплощадочных сетей электроснабжения;
- Выбор и проверка кабельных линий;
- Расчет потерь напряжения в сети;
- Расчет молниезащиты и заземления.

Выводы по первому разделу: по результатам проведенного анализа данного раздела на основе имеющейся информации о проектируемом объекте изложенной выше сформирована характеристика для торгового развлекательного комплекса по следующим критериям:

- Расположение и характеристика местности планируемой постройки объекта;
- Габаритные характеристики проектируемого здания объекта;
- Характер нагрузки электропотребителей здания;
- Категория надежности электроснабжения потребителей данного объекта;
- Список задач для дальнейшего расчета и проектирования системы электроснабжения.

2 Расчет силовых нагрузок

Для начала произведем расчёт нагрузок силового оборудования. Вся силовая нагрузка сгруппирована по распределительным щитам:

- Щиты распределительные арендаторов (ЩА, ЩР-Б),
- Щиты распределительные уличных киосков (ЩР-УК),
- Щиты распределительные компакторной (ЩР-Ком.),
- Щиты распределительные зоны фудкорта (ЩР-ФК),
- Щиты распределительные зарядной (ЩР-ЗР),
- Щиты силовые сцена (ЩР-С),
- Щиты силовые для навигационных панелей «навигаторы» (ЩС-Н),
- Щиты силовые на каток (ЩС-Каток),
- Щиты силовые питания канализационных насосов (ЩС-КНС),
- Щит пожарных насосов (ЩР-ПН),
- Щиты вентиляции (ЩВ),
- Щиты подпора воздуха и дымоудаления (ЩР-ПД),
- Щиты источника бесперебойного питания (ЩИБП),
- Щиты распределительные бесперебойного питания (Щ-БП),
- Щиты питания слаботочных систем (Щ-СБ),
- Щиты питания огнезащитных клапанов (Щ-ОЗК),
- Щиты питания автоматизации и диспетчеризации (Щ-АД),
- Щиты управления дымоудаления (КША),
- Щиты автоматической пожарной сигнализации (ЩР-АПС),
- Вводно-распределительное устройство индивидуального теплового пункта (ВРУ-ИТП),
- Вводно-распределительное устройство котельной (ВРУ-Котел.),
- Щиты рабочего освещения (ЩО),
- Щиты аварийного освещения (ЩАО),
- Щиты фасадного освещения (Щ-ФО),

– Щит наружного освещения (ЩНО).

Суммарно все щиты разводим на две электрощитовые (ЭЩ), в каждой из которых будут располагаться по два распределительных пункта (РП), разделяющие нагрузку своего электрощита. От каждого РП будут получать питание по радиальной схеме силовые и осветительные распределительные щиты объекта. Питание щитов, предназначенных для электроснабжения электроприемников системы противопожарной защиты (СПЗ) и потребителей охранно-пожарной сигнализации, а также эвакуационного и аварийного освещения будет осуществляться от панели питания электрооборудования системы противопожарной защиты (ПЭСПЗ).

Данные по нагрузкам щитов и их установленная мощность приняты согласно ведомости по проекту, а мощности для щитов рабочего, аварийного, фасадного и наружного освещения приняты согласно расчетам из пункта 3.

Выполним расчет нагрузок на примере первого РП. Данный расчет ведётся в соответствии с методикой, приведённой в п.7.2 «Нагрузки общественных зданий» СП 256.1325800.2016 [17].

– Силовые щиты.

Значения активной мощности расчетных нагрузок щитов, питающих силовые сети, определяется по формуле 1:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{уст}} \cdot K_c, \quad (1)$$

где $P_{\text{уст}}$ – установленная активная мощность электроприемников, кВт;

K_c – расчетный коэффициент спроса, определенный из п.7.2 СП 256.1325800.2016 [17], согласно которому:

- для противопожарных систем, рабочего и аварийного освещения K_c равен 1,0;
- для инженерных систем (вентиляция, кондиционерные системы, насосы и т.п.) K_c равен 0,7;
- для силовой сети (розетки, сцена, пищеблок и др.) K_c равен 0,35.

Для определения реактивной мощности нагрузок применяется формула 2:

$$Q_{\text{расч}} = P_{\text{расч}} \cdot \text{tg } \varphi, \quad (2)$$

где $\text{tg } \varphi$ – коэффициент реактивной мощности электроприемника.

Коэффициент реактивной мощности в свою очередь находится по формуле 3:

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sqrt{1^2 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}, \quad (3)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности электроприемника (для расчета силовых сетей общественных зданий значения приняты по таблице 7.12 из СП 256.1325800.2016 [17]).

Расчетный ток для щитов нагрузки определяется формулой 4:

$$I_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (4)$$

где $U_{\text{ном}}$ равен 0,4 – номинальное напряжение сети, кВ.

Расчет силовой сети ведется на примере силового щита ЩР-С:

$$P_{\text{расч.ЩР-С}} = 20 \cdot 0,35 = 7 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{расч.ЩР-С}} = 7 \cdot 0,36 = 2,54 \text{ квар},$$

$$I_{\text{расч.ЩР-С}} = \frac{\sqrt{7^2 + 2,54^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 10,75 \text{ А}.$$

Расчет противопожарных систем ведется на примере щита пожарных насосов (ЩР-ПН):

$$\begin{aligned}P_{\text{расч.ЩР-ПН}} &= 176,50 \cdot 1,00 = 176,50 \text{ кВт}, \\Q_{\text{расч.ЩР-ПН}} &= 176,5 \cdot 0,48 = 84,23 \text{ квар}, \\I_{\text{расч.ЩР-ПН}} &= \frac{\sqrt{176,5^2 + 84,23^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 282,28 \text{ А}.\end{aligned}$$

– Щиты арендаторов.

Значения активной мощности расчетных нагрузок щитов, питающих сети арендаторов, определяется по формуле 5:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{заявл}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{заявл}}$ – активная мощность арендаторов, указанная в заявке на техническое присоединение (куда входит мощность силовой и осветительной нагрузки арендатора), кВт.

Расчет сетей арендаторов ведется на примере щита ЩА-1.046:

$$\begin{aligned}P_{\text{расч.ЩА-1.046}} &= P_{\text{заявл}} = 27,76 \text{ кВт}, \\Q_{\text{расч.ЩА-1.046}} &= 27,76 \cdot 0,43 = 11,82 \text{ квар}, \\I_{\text{расч.ЩА-1.046}} &= \frac{\sqrt{27,76^2 + 11,82^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 43,54 \text{ А}.\end{aligned}$$

Суммарная активная мощность расчетных нагрузок на РП вычисляется по формуле 6:

$$P_{\text{расч.РП}} = \sum_1^n P_{\text{расч}} \cdot K_{\text{одн}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{расч}}$ - расчетная активная мощность электроприемников, кВт;

$K_{\text{одн}}$ равен 0,65 – расчетный коэффициент одновременности, определенный по таблице 7.13 из СП 256.1325800.2016 [17].

Суммарная реактивная мощность расчетных нагрузок на РП определяется формулой 7:

$$Q_{\text{расч.РП}} = \sum_1^n Q_{\text{расч}} \cdot K_{\text{одн}}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{расч}}$ – расчетная реактивная мощность электроприемников, квар.

Средневзвешенное значение коэффициента мощности на РП находится по формуле 8:

$$\cos \varphi_{\text{РП}} = \frac{\sum_1^n P_{\text{расч}} \cdot \cos \varphi}{\sum_1^n P_{\text{расч}}}. \quad (8)$$

Найдем расчетные значения нагрузок на РП1 по формулам 1-8 (значения мощности всех щитов найдем аналогично щиту ЩА-1.046) и сведем расчет в таблицу 2 и 3:

$$P_{\text{расч.РП1}} = (27,76 + 21 + 60,2 + 45,5 + 57,6 + 49 + 38,85 + 16,5 + 16,05 + 5,64 + 22,54) \cdot 0,65 = 234,41 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{расч.РП1}} = (11,82 + 8,95 + 29,16 + 19,38 + 18,93 + 35,79 + 18,82 + 5,42 + 5,28 + 1,85 + 9,79) \cdot 0,65 = 107,38 \text{ квар};$$

$$I_{\text{расч.РП1}} = \frac{\sqrt{234,41^2 + 107,38^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 372,15 \text{ А};$$

$$\sum_1^n P_{\text{расч}} \cdot \cos \varphi = 27,76 \cdot 0,92 + 21 \cdot 0,92 + 60,2 \cdot 0,9 + 45,5 \cdot 0,92 + \\ + 57,6 \cdot 0,95 + 49 \cdot 0,81 + 38,85 \cdot 0,9 + 16,50 \cdot 0,95 + 16,05 \cdot 0,95 + \\ + 5,64 \cdot 0,95 + 22,54 \cdot 0,92 = 327,1;$$

$$\sum_1^n P_{\text{расч}} = 27,76 + 21 + 60,2 + 45,5 + 57,6 + 49 + 38,85 + 16,5 + \\ + 16,05 + 5,64 + 22,54 = 360,634;$$

$$\cos \varphi_{\text{рпн}} = \frac{327,1}{360,634} = 0,91;$$

$$\text{tg} \varphi_{\text{рпн}} = \frac{\sqrt{1^2 - 0,91^2}}{0,91} = \frac{0,415}{0,91} = 0,46.$$

Аналогичным образом выполняется расчет нагрузок для РП2, РП3 и РП4.

Для нахождения суммарной нагрузки ПЭСПЗ произведем расчет нормального режима, когда в работе задействованы ЩИБП-1 (щиты питания слаботочных систем и автоматики) и ЩИБП-2 (щиты аварийного освещения и пожарной сигнализации), и расчет в режиме пожара, где задействована вся панель ПЭСПЗ (ЩИБП-1, ЩИБП-2 и щиты противопожарных систем).

Результаты расчетов нагрузок по электрощитовым ЭЩ1 и ЭЩ2, а также для панели ПЭСПЗ представлены в таблицах 2, 3 и 4 соответственно.

Таблица 2 – Расчет силовых нагрузок для электрощитовой 1

Обозначение щита	Наименование	Руст, кВт	Кс/Кодн.	cos φ	tg φ	Ррасч, кВт	Qрасч, квар	Iрасч, А
РП-1								
ЩА-1.046	Щит арендатора	27,76	1,00	0,92	0,43	27,76	11,82	43,54
ЩР-УК	Щит уличных киосков	60,00	0,35	0,92	0,43	21,00	8,95	32,95
ЩА-1.024	Щит арендатора	60,20	1,00	0,90	0,48	60,20	29,16	96,55
ЩА-1.041	Щит арендатора	45,50	1,00	0,92	0,43	45,50	19,38	71,38
ЩНО	Щит наружного освещения	57,60	1,00	0,95	0,33	57,60	18,93	87,51
ЩС-Н	Щит силовой навигаторов	140,00	0,35	0,81	0,73	49,00	35,79	87,58
ЩР-Б1	Щит распредел. арендаторов-1	38,85	1,00	0,90	0,48	38,85	18,82	62,31
ЩО-1	Щит рабочего освещения	12,47	1,00	0,95	0,33	12,47	4,10	18,95
ЩО-2	Щит рабочего освещения	13,49	1,00	0,95	0,33	13,49	4,43	20,50
ЩО-5	Щит рабочего освещения	6,74	1,00	0,95	0,33	2,97	0,98	4,51
ВРУ-ИТП	Ввод. распредел. устр. ИТП	40,98	0,55	0,92	0,43	22,54	9,79	35,47
Суммарно на РП1		503,59	0,65	0,91	0,46	230,85	106,20	366,77
РП-2								
ЩВ-2	Щит вентиляция-2	108,02	0,70	0,72	0,97	75,61	72,97	151,67
ЩА-1.091	Щит арендатора	91,70	1,00	0,92	0,43	91,70	39,06	143,87
ЩВ-1	Щит вентиляция-1	82,00	0,70	0,81	0,73	57,40	41,93	102,60
ЩР-Б2	Щит распредел. арендаторов-2	79,10	1,00	0,90	0,48	79,10	38,31	126,86
ЩО-3	Щит рабочего освещения	19,10	1,00	0,95	0,33	19,10	6,28	29,02
ЩО-4	Щит рабочего освещения	21,80	1,00	0,95	0,33	21,80	7,17	33,12
ЩР-ЗР.1	Щит распредел. зарядной (1.085)	20,00	0,35	0,81	0,73	7,00	5,11	12,51
ЩА-1.042	Щит арендатора (химчистка)	35,00	1,00	0,81	0,73	35,00	25,57	62,56
Суммарно на РП2		456,72	0,65	0,85	0,61	251,36	153,66	425,23

Таблица 3 – Расчет силовых нагрузок для электрощитовой 2

Обозначение	Наименование	Руст, кВт	Кс/Кодн.	cos φ	tg φ	Ррасч, кВт	Qрасч, квар	Iрасч, А
РП-3								
ЩР-3Р	Щит распр. пом. заряд. (1.097)	20,00	0,35	0,81	0,73	7,00	5,11	12,51
ЩР-1	Щит распределительный-1	62,00	0,35	0,94	0,36	21,70	7,88	33,32
ЩР-3	Щит распределительный-3	66,50	0,35	0,93	0,40	23,28	9,20	36,12
ЩР-5	Щит распределительный-5	24,00	0,35	0,93	0,40	8,40	3,32	13,04
ЩР-БЗ	Щит распр. арендаторов-3	72,66	1,00	0,90	0,48	72,66	35,19	116,53
ЩА-1.018	Щит арендатора	35,00	1,00	0,90	0,48	35,00	16,95	56,13
ЩР-Ком.	Щит распр. Компакторной	25,12	0,35	0,90	0,48	8,79	4,20	14,06
ЩС-КНС	Щит силовой канал. нас. стан.	249,00	0,70	0,81	0,73	174,30	127,32	311,55
ЩА-1.014	Щит арендатора	52,50	1,00	0,90	0,48	52,50	25,43	84,20
Щ-АД	Щит автомат. и диспечер.	15,00	0,35	0,90	0,48	5,25	2,50	8,40
Суммарно на РП3		621,78	0,65	0,87	0,58	265,77	154,11	443,43
РП-4								
ВРУ-ИТП	Ввод. распр. устр. ИТП	40,98	0,55	0,92	0,43	22,54	9,79	35,47
ЩР-2	Щит распределительный-2	46,36	0,35	0,93	0,40	16,23	6,41	25,18
ЩР-4	Щит распределительный-4	99,60	0,35	0,93	0,40	34,86	13,78	54,10
ЩР-ФК	Щит распр. зоны фудкорта	245,00	0,35	0,81	0,73	85,75	62,64	153,27
ЩВ-3	Щит вентиляция-3	121,70	0,70	0,81	0,73	85,19	62,23	152,28
ЩО-Р	Щит питания рекламы	40,00	0,35	0,95	0,33	14,00	4,60	21,27
ЩА-1.072	Щит арендатора	31,50	1,00	0,92	0,43	31,50	13,42	49,42
Щ-ФО	Щит освещения фасада	8,64	1,00	0,95	0,33	8,64	2,84	13,13
ЩС-Каток	Щит силовой каток	100,00	0,35	0,81	0,73	35,00	25,57	62,56
ЩР-С	Щит силовой сцена	20,00	0,35	0,94	0,36	7,00	2,54	10,75
ВРУ-Котел.	Ввод. распр. устр. Котельная	57,67	0,69	0,90	0,48	39,79	19,09	63,70
Суммарно на РП4		811,45	0,65	0,86	0,59	247,33	149,25	413,73

Таблица 4 – Расчет силовых нагрузок для панели ПЭСПЗ

Обозначение	Наименование	Руст, кВт	Kc	cos φ	tg φ	Ррасч, кВт	Qрасч, квар	Ирасч, А
ПЭСПЗ								
ЩИБП-1	Щит источника бесперебойного питания - 1	42,10	1,00	0,90	0,48	42,10	20,09	67,33
ЩР-ПН	Щит пожарных насосов	176,50	1,00	0,90	0,48	176,50	84,23	282,28
ЩР-ПД	Щит подпор воздуха и дымоудаления	92,50	1,00	0,90	0,48	92,50	44,25	148,00
Щ-ОЗК	Щит огнезащитные клапаны	1,80	1,00	0,90	0,48	1,80	0,86	2,88
ЩИБП-2	Щит источника бесперебойного питания - 2	27,91	1,00	0,90	0,48	27,91	13,32	44,64
КША-01	Шкаф управления дымоудалением	43,00	1,00	0,90	0,48	43,00	20,52	68,77
Щит ИБП 1								
Щ-БП	Щит бесперебойного питания	12,00	1,00	0,90	0,48	12,00	5,73	19,19
Щ-СБ1	Щит питания слаботочных систем	14,20	1,00	0,90	0,48	14,20	6,78	22,71
ЩАУ-П1	Щиты автоматики и управления	5,00	1,00	0,90	0,48	5,00	2,39	8,00
ЩАУ-П2	Щиты автоматики и управления	5,00	1,00	0,90	0,48	5,00	2,39	8,00
ЩАУ-П3	Щиты автоматики и управления	5,00	1,00	0,90	0,48	5,00	2,39	8,00
Щит ИБП 2 (ЩАО и АПС)								
ЩАО-1	Щит аварийного освещения - 1	3,29	1,00	0,90	0,48	3,29	1,57	5,26
ЩАО-2	Щит аварийного освещения - 2	1,90	1,00	0,90	0,48	1,90	0,90	3,03
ЩАО-3	Щит аварийного освещения - 3	2,30	1,00	0,90	0,48	2,30	1,10	3,68
ЩАО-4	Щит аварийного освещения - 4	3,97	1,00	0,90	0,48	3,97	1,90	6,35
ЩАО-5	Щит аварийного освещения - 5	1,09	1,00	0,90	0,48	1,09	0,52	1,74
ЩР-АПС	Щит автоматической пожарной сигнализации	23,50	1,00	0,90	0,48	23,50	11,22	37,58
Итого на ИБП (ИБП 1+ИБП 2)		69,11	1,00	0,90	0,48	69,11	32,98	110,53
Итого на ПЭСПЗ	Пожарный режим (вся панель ПЭСПЗ)	382,91	1,00	0,90	0,48	382,91	182,84	612,46
	Нормальный режим (ЩИБП-1+ЩИБП-2)	69,11	1,00	0,90	0,48	69,11	32,98	110,53

Выводы по второму разделу: по итогам вычислений найдены расчетные токи и значения мощности для каждого распределительного щита с учетом его коэффициента спроса.

Исходя из результирующей мощности нагрузок все силовые и осветительные распределительные щиты объекта равномерно разведены по четырем распределительным пунктам, которые в свою очередь будут располагаться в электрощитовых ЭЩ1 и ЭЩ2.

Нагрузка щитов для электроприемников СПЗ, потребителей охранно-пожарной сигнализации, а также эвакуационного и аварийного освещения сведена в панель ПЭСПЗ. Аналогичным образом для ПЭСПЗ выполнен расчет нагрузок в условиях нормального и пожарного режима работы. По результатам сформированы ведомости расчета силовых нагрузок.

3 Расчет осветительных нагрузок

Одним из важных этапов проектирования общественных зданий и их территории является грамотный светотехнический расчет, из которого следует выбор осветительных приборов и определение их параметров, расположения и количества для достижения соответствий с нормами освещенности.

В рамках данного раздела рассмотрена осветительная продукция российских производителей от следующих зарекомендовавших себя брендов:

- «Световые технологии» г. Рязань [8],
- «INTILED» г. Санкт-Петербург [7],
- «ВСТЗ Луч» г. Тольятти [9].

Далее следует выбор и расчёт светильников исходя из их предназначения, светотехнических параметров и конструктивных особенностей для внутреннего, фасадного и наружного освещения.

3.1 Расчет внутреннего освещения

В торговом комплексе предусматриваются следующие виды внутреннего освещения: рабочее, аварийное (эвакуационное и резервное), ремонтное и дежурное [13].

Для создания внутреннего освещения используются осветительные приборы со светодиодными лампами. За счет ряда своих преимуществ по сравнению люминесцентными аналогами светодиодные лампы имеют: малое энергопотребление, долгий срок службы, безопасность, отсутствие мерцания и ультрафиолетового излучения, что также соответствует нормам, изложенным в СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [16], а также по результатам исследований [26] светодиодное излучение имеет положительное влияние на организм человека.

В качестве внутреннего освещения торгового развлекательного комплекса г. Зеленогорск рассмотрены следующие типы и марки светильников от производителя компании «Световые технологии»:

- TOP LED 1200 4000K – Накладной светодиодный светильник с зеркальной параболической решеткой;
- OPL/R ECO LED 595 STANDARD 4000K Edge 24-04 – Встраиваемый светодиодный светильник с опаловым рассеивателем;
- SLICK.OPL ECO LED 45 4000K – Светодиодный линейный пыле- и влагозащищенный светильник;
- SOL P LED 900 WH 4000K – Подвесной круглый светодиодный светильник;
- DL POWER LED 60 D80 HFD 4000K – Светодиодный светильник типа Downlight;
- UGR DL PREMIUM 30W OPL 940 WH EM – Светодиодный светильник типа Downlight со степенью защиты IP54;
- SAFARI DL LED G2 10W 840 WH – Светодиодный светильник типа Downlight со степенью защиты IP54;
- SAFARI DL LED 20 4000K – Светодиодный светильник типа Downlight со степенью защиты IP44;
- STAR LED 20W 840 SL – Светодиодный настенный/потолочный вандалозащищенный светильник с высокой степенью защиты IP65;
- PRS/R ECO LED 300 4000K – Светодиодный светильник PRS с призматическим рассеивателем;
- T120 LED 1700 4000K (28W) – Подвесная профильная система с круглым рассеивателем;
- ОККО 26 WH 4000K DALI – Встраиваемый светодиодный светильник направленного света;
- LYRA 4221-4 LED – Световой указатель «Выход» серии LYRA LED;

- I-BRILL 4023-6 LED BL – Световой аварийный указатель выхода серии I-BRILL.

Данные по техническим параметрам и характеристикам светового оборудования приведены в ведомости светильников таблице 5.

Таблица 5 – Ведомость светильников

Наименование	Кол-во (шт.)	Номинальная мощность Рном. (кВт)	Цветовая температура (К)	Световой поток (Лм)	Угол рассеивания (град.)
DL POWER LED 60 D80 HFD 4000K	16	0,054	4000	6700	80
I-BRILL 4023-6 LED BL	33	0,004	-	0	-
LYRA 4221-4 LED	120	0,004	-	200	-
OKKO 26 WH 4000K DALI	54	0,030	4000	3200	70
OPL/R ECO LED 595 STANDARD 4000K Edge 24-04	33	0,032	4000	3600	120
PRS/R ECO LED 300 4000K	5	0,018	4000	2000	110
SAFARI DL LED 20 4000K	40	0,020	4000	1900	120
SAFARI DL LED G2 10W 840 WH	26	0,013	4000	1050	120
SLICK.OPL ECO LED 45 4000K	103	0,042	4000	4300	120
SOL P LED 900 WH 4000K	44	0,110	4000	13600	120
STAR LED 20W 840 SL	23	0,020	4000	1900	110
T120 LED 1700 4000K (28W)	45	0,028	4000	4200	120
TOP LED 1200 4000K	116	0,030	4000	3000	120
UGR DL PREMIUM 30W OPL 940 WH EM	140	0,028	4000	3000	70

Для общего освещения, в коридорах, в складских и технических помещениях, а также на лестничных клетках приняты к установке светильники марки TOP LED 1200 4000K и SLICK.OPL ECO LED 45 4000K.

В офисах и кабинетах второго этажа, на пропускном пункте, на пожарном и охранном посту встраиваются в подвесные потолки типа Армстронг светильники марки OPL/R ECO LED 595 STANDARD 4000K Edge 24-04 и PRS/R ECO LED 300 4000K.

По коридору второго этажа монтируются в потолок светильники типа Downlight SAFARI DL LED G2 10W 840 WH, а в комнатах для персонала используются светильники марки ОККО 26 WH 4000K DALI и SAFARI DL LED 20 4000K.

Во всех санузлах над туалетными кабинками установлены светильники T120 LED 1700 4000K, представляющие собой подвесную профильную систему с круглым рассеивателем, подключенные к датчикам движения.

Общее освещение в санузлах обеспечивается потолочными панелями с внутренней подсветкой WOVIN WALL STANDART (материал: HPL ламинат, цвет: белый глянец), а в помещениях с алюминиевым реечным потолком (технические помещения и туалеты для инвалидов) применены светильники марки ОККО 26 WH 4000K DALI и SAFARI DL LED 20 4000K.

Для освещения входных вестибюлей предусматриваются к установке светильники DL POWER LED 60 D80 HFD 4000K.

По периметру холла торгового центра на первом этаже на рекламных фризах встроены светильники UGR DL PREMIUM 30W OPL 940 WH EM.

На потолке по всей длине торговой галереи подвешены светодиодные светильники круглой формы SOL P LED 900 WH 4000K. В качестве основного освещения используются дизайнерские светодиодные светильники следующих моделей:

- L1.2 – ВСС ДПО-01-47 Вт (1200×600),
- L1.3 – ВСС ДПО-01-31 Вт (800×600),
- L3.2 – ВСС ДПО-01-31 Вт (1200×600),

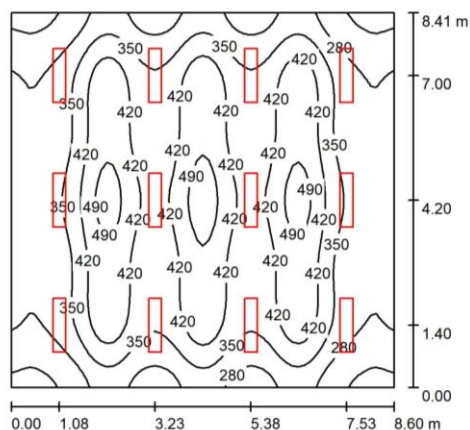
– L3.3 – ВСС ДПО-01-22 Вт (800×600).

Конструктивно светильники имеют форму лепестков как с цветным (L1.2, L1.3), так и монохромно белым (L1.2 L1.3, L3.2, L3.3) источником света. Поскольку данные светильники производятся под заказ, то их поставкой занимается производитель потолка и комплекс светотехнических расчетов выполняется дизайнерами.

Кроме того, в коридорах торговой галереи присутствует освещение декоративных деревьев мощностью 1 и 1,5 кВт, которые также учтены в расчете мощности всей световой нагрузки.

Ниже сделан светотехнический расчет на примере помещения доставки галереи (№1.085 по экспликации) выполненный в программном комплексе «Dialux». Поскольку помещение относится в состав логистических центров, то его средняя освещенность должна составлять не менее 200 Люкс (исходя из нормативных показателей освещения основных помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий, изложенных в таблице Л.1 свода правил СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [19]). Для достижения указанной нормируемой освещенности были использованы светильники модели TOP LED 1200 4000К в количестве 12 штук. На рисунке 4 показано резюме расчета для данного помещения.

Помещение 2 / Резюме



Высота помещения: 3.500 м, Монтажная высота: 3.500 м,
 Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:108

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	363	190	523	0.522
Полы	20	333	174	436	0.524
Потолок	70	65	44	73	0.675
Стенки (4)	50	134	49	226	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 м
 Растр: 64 x 64 Точки
 Краевая зона: 0.000 м

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 65.38%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	12	Lighting Technologies TOP LED 1200 4000K (1.000)	3000	3000	30.0
			Всего: 36000	Всего: 36000	360.0

Удельная подсоединенная мощность: $4.98 \text{ W/m}^2 = 1.37 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 72.33 m^2)

Рисунок 4 – Резюме по светотехническому расчету помещения

Аналогичным методом произведен расчет для других помещений. Освещённость помещений принимается в соответствии с техническими требованиями заказчика и не ниже, чем требует ГОСТ Р ЕН 12464-1:2011 «Свет и освещение. Освещение рабочих мест. Часть 1. Рабочие места в помещениях» [5]. Результат расчета средней освещенности по всем помещениям сведен в ведомость светотехнического расчета с указанием площади помещений и сравнением получившихся значений освещенности с нормируемыми (таблица 6).

Таблица 6 – Ведомость светотехнического расчета

№ на плане	Наименование помещения	S, м ²	Расчет		Норма		№ на плане	Наименование помещения	S, м ²	Расчет		Норма	
			Е _{ср} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}	Е _{норм} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}				Е _{ср} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}	Е _{норм} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}
1.001	Коридор	1809,9	438	0,55	400	0,4	1.107	Тамбур	10,51	194	0,52	150	0,4
1.002	Фудкорт	1689,8	454	0,52	400	0,4	1.108	Туалет для инвалидов	5,97	249	0,64	200	0,4
1.003	Входной вестибюль	135,5	162	0,54	150	0,4	1.109	Техническое помещение	3,26	228	0,51	200	0,4
1.008	Коридор	56,5	135	0,45	100	0,4	1.110	ПУИ	6,42	211	0,46	200	0,4
1.009	Электрощитовая	24,88	275	0,67	200	0,4	1.111	Мужской санузел	11,81	231	0,45	200	0,4
1.010	Техническое помещение	13,8	234	0,45	200	0,4	1.112	Мужская умывальная	7,73	221	0,62	200	0,4
1.012	Доставка	20,07	219	0,67	200	0,4	1.113	Помещение хранения моющих средств	6,35	189	0,42	150	0,4
1.013	Комната для выгрузки отходов	15,92	217	0,51	200	0,4	1.114	Тамбур	3,25	155	0,41	100	0,4
1.015	Комната хранения декораций	255,96	178	0,58	150	0,4	1.129	ИТП гипермаркета	71,82	241	0,67	200	0,4
1.016	Технический коридор	73,95	174	0,41	150	0,4	1.131	Водомерный узел гипермаркета	21,66	264	0,53	200	0,4
1.016.1	Технический коридор	139,01	165	0,52	150	0,4	1.133	Насосная	252,47	256	0,42	200	0,4
1.025	Коридор	65,65	204	0,4	150	0,4	1.140	Помещение хранения ламп	11,01	172	0,42	150	0,4
1.026	Женская умывальная	20,11	234	0,69	200	0,4	1.144	Санузел персонала	3,54	247	0,56	200	0,4
1.026.1	Тамбур	8,18	256	0,68	200	0,4	1.151	Санузел персонала	3,24	231	0,65	200	0,4

Продолжение таблицы 6

№ на плане	Наименование помещения	S, м ²	Расчет		Норма		№ на плане	Наименование помещения	S, м ²	Расчет		Норма	
			Е _{ср} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}	Е _{норм} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}				Е _{ср} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}	Е _{норм} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}
1.027	Техническое помещение	4,62	229	0,53	200	0,4	1.175	Моечная подносов	13,73	241	0,41	200	0,4
1.028	Женский санузел	22,48	267	0,4	200	0,4	1.176	Коридор	14,29	162	0,69	100	0,4
1.029	Техническое помещение	3,4	259	0,5	200	0,4	1.234	Электрощитовая	17,02	145	0,6	100	0,4
1.030	Мужская умывальная	13,57	226	0,47	200	0,4	1.235	Электрощитовая	13,68	238	0,44	200	0,4
1.031	Мужской санузел	13,18	223	0,56	200	0,4	1.236	Электрощитовая	13,68	238	0,69	200	0,4
1.033	ПУИ	4,64	268	0,69	200	0,4	1.238	Кладовая хоз. инвентаря	47,13	166	0,56	150	0,4
1.034	Туалет для инвалидов	6,95	251	0,66	200	0,4	А-1.076	ИТП гипермаркета	57,19	240	0,52	200	0,4
1.035	Комната матери и ребенка	7,83	222	0,46	200	0,4	А-1.077	Техническое помещение гипермаркета	28,27	216	0,65	200	0,4
1.036	Техническое помещение	18,12	272	0,68	200	0,4	2.01	ЛК-3	21,06	147	0,56	100	0,4
1.037	Коридор	163,96	238	0,55	150	0,4	2.02	Диспетчерская	21,67	534	0,41	500	0,4
1.045	Коридор	117,23	193	0,55	150	0,4	2.03	Офис	15,61	564	0,53	500	0,4
1.047	Входной вестибюль	113,52	197	0,57	150	0,4	2.04	Офис	15,73	559	0,63	500	0,4
1.058	Коридор	326,69	426	0,47	400	0,4	2.05	Офис	14,89	537	0,63	500	0,4
1.071	Коридор	66,3	171	0,64	150	0,4	2.06	Комната отдыха	23,34	310	0,46	300	0,4
1.079	Входной вестибюль	105,61	193	0,42	150	0,4	2.07	Коридор	88,51	111	0,44	100	0,4
1.080	Коридор	64,62	163	0,45	150	0,4	2.08	Серверная	9,01	241	0,49	200	0,4

Продолжение таблицы 6

№ на плане	Наименование помещения	S, м ²	Расчет		Норма		№ на плане	Наименование помещения	S, м ²	Расчет		Норма	
			Е _{ср} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}	Е _{нор} м, Лк	Е _{мин} /Е _{ср}				Е _{ср} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}	Е _{норм} , Лк	Е _{мин} /Е _{ср}
1.081	ЛК-3	17,45	110	0,57	100	0,4	2.09	Комната приема пищи	28,64	314	0,52	300	0,4
1.082	Гамбур	3,09	146	0,44	100	0,4	2.10	Гардеробная	20,37	368	0,66	300	0,4
1.083	Компакторная	57,75	245	0,67	200	0,4	2.11	Душевая	4,02	117	0,61	100	0,4
1.083.1	Помещение для хранения ламп	4,5	197	0,64	150	0,4	2.12	Душевая	4,02	117	0,64	100	0,4
1.084	Коридор	93,35	116	0,48	100	0,4	2.13	ПУИ	6,42	114	0,45	100	0,4
1.085	Доставка галереи	71,87	333	0,52	200	0,4	2.14	Гардеробная	20,74	344	0,65	300	0,4
1.086	Доставка ресторана	32,92	239	0,47	200	0,4	2.15	Кладовая	5,08	112	0,62	100	0,4
1.097	Помещение моечных машин	17,87	224	0,41	200	0,4	2.16	Переговорная	24,74	537	0,44	500	0,4
1.098	Коридор	45,97	184	0,54	150	0,4	2.17	Санузел для персонала	5,94	234	0,61	200	0,4
1.099	Сейфовая комната	9,01	230	0,49	200	0,4	2.18	Санузел для персонала	5,94	245	0,46	200	0,4
1.100	Помещение ИБП	16,75	243	0,66	200	0,4	2.19	Кабинет директора	15,21	557	0,67	500	0,4
1.101	Мониторная. Пожарный пост	21,25	544	0,52	500	0,4	2.20	Кабинет директора	14,61	539	0,51	500	0,4
1.102	Помещение охраны	5,85	524	0,41	500	0,4	2.21	ЛК-4	21,49	116	0,43	100	0,4
1.103	Пропускной пункт	4,66	136	0,57	100	0,4	2.24	Офис	15,26	544	0,63	500	0,4
1.104	ЛК-4	17,71	114	0,64	100	0,4	2.24.1	Офис	10,64	528	0,67	500	0,4
1.105	Женская умывальная	15,33	226	0,68	200	0,4	2.25.1	ЛК-6	6,4	125	0,55	100	0,4
1.106	Женский санузел	23,57	227	0,42	200	0,4	2.30	Электрощитовая	14,27	212	0,65	200	0,4

Для эвакуационного аварийного освещения применяются как автономные светильники с аккумуляторами, так и централизованная система аварийного освещения (ЦСАО), при которой питание на светильники поступает от централизованного источника бесперебойного питания и обеспечивает автономную работу не менее 60 минут.

Для коридорных помещений площадь более 60 м² предусматривается антипаническое освещение, составляющее не менее 0,5 лк по всей площади, и 1,0 лк для путей эвакуации, согласно СП 439.1325800.2018 «Здания и сооружения. Правила проектирования аварийного освещения» [18]. Для создания антипанического освещения используются светильники TOP LED 1200 4000К, расставленные по всей площади коридоров от торговой галереи до входных вестибюлей.

Над дверными выходами, разделяющими улицу и магазин реализовано эвакуационное освещение входной группы с применением светильников серии STAR LED 20W 840 SL. На путях эвакуации предусмотрена установка эвакуационных световых указателей выхода серии I-BRILL 4023-6 LED BL, а над всеми дверями, ведущими к выходу, располагаются световые оповещатели-табло «ВЫХОД»: LYRA 4221-4 LED.

Выбранные светильники рабочего и аварийного освещения территориально подключены к групповым щитам, которые в свою очередь питаются от щитов распределительной сети:

- ЩО-1, ЩО-2, ЩО-3, ЩО-4, ЩО-5 – щиты распределительные рабочего освещения торговой галереи, офисов и технических помещений;
- ЩАО-1, ЩАО-2, ЩАО-3, ЩАО-4, ЩАО-5 – щиты распределительные аварийного освещения торговой галереи, офисов и технических помещений;
- ЩУО – щиты управления освещением.

Управление освещением осуществляется индивидуальными выключателями, установленными у входов в помещения, а также централизованное управление освещением общественных зон от щита ЩУО.

К распределительным щитам подключены ящики с понижающим трансформатором на 36 В по низкой стороне (ЯТП-0,25 220/36В).

Расчетная мощность по щиту ЩО и ЩАО определяется аналогично расчету мощности силовых щитов, приведенный в пункте 2 по формуле 1, где коэффициент спроса для освещения равен 1. Установленная мощность светильников в свою очередь определяется суммой групповых установленных значений мощности согласно формуле 9:

$$P_{\text{уст.}} = \sum_1^n P_{\text{уст.групп.}} = \sum_1^n P_{\text{ном}} \cdot n, \quad (9)$$

где $P_{\text{уст.групп.}}$ – установленная активная мощность осветительной нагрузки в одной группе, кВт;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность, берущаяся по паспорту, для одного светильника, кВт;

n – количество светильников в группе, шт.

Расчетный ток как для групповой, так и для полной мощности светильников на щите описан формулой 10:

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}, \quad (10)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, равное 0,4 кВ;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности указанный в паспорте светильника.

Для примера ниже описан расчет, выполняемый для ЩО1 и ЩАО1 следующим образом:

$$P_{\text{расч.ЩО1-01}} = (0,030 \cdot 2 + 0,030 \cdot 9 + 0,030 \cdot 1 + 0,030 \cdot 11 + 0,030 \cdot 6) \cdot 1 = \\ = (0,06 + 0,27 + 0,03 + 0,33 + 0,18) \cdot 1 = 0,87 \text{ кВт};$$

$$I_{\text{расч.ЩО1-01}} = \frac{0,87}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,95} = 1,32 \text{ А};$$

$$P_{\text{расч.ЩО1}} = 0,87 + 0,60 + 0,66 + 0,84 + 0,28 + 0,50 + 1,52 + 1,01 + \\ + 0,89 + 2,00 + 0,99 + 0,43 + 1,00 + 2,00 + 0,25 = 12,47 \text{ кВт};$$

$$I_{\text{расч.ЩО1}} = \frac{12,47}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,95} = 18,95 \text{ А};$$

$$P_{\text{расч.ЩАО1-01}} = (0,030 \cdot 2 + 0,030 \cdot 3 + 0,018 \cdot 1 + 0,030 \cdot 2 + 0,030 \cdot 1 + 0,018 \cdot 1) \cdot 1 = \\ = (0,06 + 0,09 + 0,018 + 0,03 + 0,018) \cdot 1 = 0,276 \text{ кВт};$$

$$I_{\text{расч.ЩАО1-01}} = \frac{0,276}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,95} = 0,419 \text{ А};$$

$$P_{\text{расч.ЩАО1}} = 0,276 + 0,210 + 0,064 + 0,180 + 0,180 + 0,148 = 1,058 \text{ кВт};$$

$$I_{\text{расч.ЩАО1}} = \frac{1,058}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,95} = 1,61 \text{ А};$$

Для всех остальных щитов расчет выполнен аналогичным методом и результаты сведены в таблицы 7 и 8 соответственно.

Таблица 7 – Результаты расчёта мощности рабочего освещения для ЩО

Щит	Помещение	№ светильника	п, шт.	Rном, кВт	Руст, кВт	Kс	Ррасч, кВт	cos φ	Iрасч, А
ЩО-1	1.001, 1.079-1.081, 1.083-1.086, 1.097, 1.099-1.114, 1.234.	1-5, 7-9, 12-18	253	-	13,86	0,9	12,47	0,95	18,95
ЩО-2	1.001, 1.045, 1.047, 1.071, 1.151, 1.236	1-5, 11, 15,	443	-	14,99	0,9	13,49	0,95	20,50
ЩО-3	1.001, 1.025-1.031, 1.033-1.037, 1.144, 1.235	2-5, 9, 11-13, 15-18	217	-	12,88	0,9	11,59	0,95	17,61
ЩО-4	1.002, 1.003, 1.008-1.010, 1.012-1.013.1, 1.015-1.016.1, 1.098, 1.129, 1.131, 1.133, 1.175, 1.176, 1.238, А-1.076, А-1.077,	1-5, 11, 12, 15, 19	346	-	20,65	0,9	18,59	0,95	28,24
ЩО-5	2.01- 2.21, 2.24, 2.24.1, 2.30	6, 7, 9, 10, 14.	126	-	3,30	0,9	2,97	0,95	4,51
Ведомость светильников									
DL POWER LED 60 D80 HFD 4000K	1	24	0,054	-	-	-	-	-	-
L1.2 - ВСС ДПО-01-47	2	262	0,047	-	-	-	-	-	-
L1.3 - ВСС ДПО-01-31	3	215	0,031	-	-	-	-	-	-
L3.2 - ВСС ДПО-01-31	4	188	0,031	-	-	-	-	-	-
L3.3 - ВСС ДПО-01-22	5	190	0,022	-	-	-	-	-	-
OKKO 26 WH 4000K DALI	6	54	0,030	-	-	-	-	-	-
OPL/R ECO LED 595 STANDARD 4000K Edge 24-04	7	31	0,032	-	-	-	-	-	-
PRS/R ECO LED 300 4000K	8	3	0,018	-	-	-	-	-	-
SAFARI DL LED 20 4000K	9	40	0,020	-	-	-	-	-	-
SAFARI DL LED G2 10W 840 WH	10	22	0,013	-	-	-	-	-	-
SLICK.OPL ECO LED 45 4000K	11	70	0,042	-	-	-	-	-	-
SOL P LED 900 WH 4000K	12	44	0,110	-	-	-	-	-	-
T120 LED 1700 4000K (28W)	13	45	0,028	-	-	-	-	-	-
TOP LED 1200 4000K	14	56	0,030	-	-	-	-	-	-
UGR DL PREMIUM 30W OPL 940 WH EM	15	140	0,028	-	-	-	-	-	-
WOVIN WALL STANDART 1 кВт	16	7	1,000	-	-	-	-	-	-
WOVIN WALL STANDART 2 кВт	17	1	2,000	-	-	-	-	-	-
Декоративные деревья 1 кВт	18	4	1,000	-	-	-	-	-	-
Декоративные деревья 1,5 кВт	19	4	1,500	-	-	-	-	-	-
ЯТП-0,25 220/36В	-	3	0,250	-	-	-	-	-	-

Таблица 8 – Результаты расчёта мощности аварийного освещения для ЩАО

Щит	Помещение	№ светильника	п, шт.	Rном, кВт	Rуст, кВт	Kс	Rрасч, кВт	cos φ	Iрасч, А
ЩАО-1	1.001, 1.079-1.086, 1.099-1.102, 1.104, 1.114, 1.234	1-4, 6, 8	37	-	0,148	1	0,148	0,95	0,225
ЩАО-2	1.001, 1.045, 1.047, 1.058, 1.236,	1, 2, 5, 6, 8	63	-	0,778	1	0,78	0,95	1,18
ЩАО-3	1.001, 1.025, 1.036, 1.037, 1.235	1, 2, 5, 6, 8	35	-	0,528	1	0,53	0,95	0,80
ЩАО-4	1.001, 1.003, 1.008-1.010, 1.016, 1.016.1, 1.128, 1.129, 1.131, 1.133-1.134.2, А-1.077,	1, 2, 5, 6, 8	94	-	1,876	1	1,88	0,95	2,85
ЩАО-5	2.01, 2.07, 2.21, 2.30	2, 7, 8	14	-	0,170	1	0,17	0,95	0,26
Ведомость светильников									
I-BRILL 4023-6 LED BL	1	33	0,004	-	-	-	-	-	-
LYRA 4221-4 LED	2	120	0,004	-	-	-	-	-	-
OPL/R ECO LED 595 STANDARD 4000K Edge 24-04	3	2	0,032	-	-	-	-	-	-
PRS/R ECO LED 300 4000K	4	2	0,018	-	-	-	-	-	-
SLICK.OPL ECO LED 45 4000K	5	33	0,042	-	-	-	-	-	-
STAR LED 20W 840 SL	6	23	0,020	-	-	-	-	-	-
SAFARI DL LED G2 10W 840 WH	7	4	0,013	-	-	-	-	-	-
TOP LED 1200 4000K	8	60	0,030	-	-	-	-	-	-

Выводы для данного подраздела: резюмируя вышеописанное, в рамках создания рабочего и аварийного освещения в торговом комплексе проведен комплекс действий, состоящий из выбора осветительных приборов, расчета освещенности в помещениях и расчета мощности для каждого щита рабочего и аварийного освещения. Данные по результатам полученных значений потребляемой мощности и тока необходимо принимать во внимание при расчете суммарных электрических нагрузок здания.

3.2 Расчет фасадного освещения

Данный раздел посвящен проектированию фасадного освещения.

Сперва для фасадов здания ТРК г. Зеленогорск рассмотрена продукция светильников от производителя компании «INTILED» и выбран ряд моделей:

- BOX IMF24-2 W40-65H 54W – Прожекторы, предназначенные для создания заливающего и акцентирующего фасадного освещения (по проекту выполняют функцию подсветки композитных панелей);
- IntiGROUND IGR24-1 W40-60H 31W – Прожекторы встраиваемые, для создания заливающего освещения фасадов с грунта (в данном проекте использованы для подсветки ствола декоративных деревьев, стоящих перед входами в вестибюль);
- IntiSPOT IRB7-1 W40-34DL48 7W – Компактные светильники, применяемые для декоративной подсветки мелких архитектурных элементов и создания медиафасадов (используются для подсветки портала);
- IntiSTARK IMF36-2 W40-80H 79W – Прожекторы, применяемые для заливающего архитектурного освещения (применяются для подсветки баннеров);
- IntiTOP IRF12-1 W40-16DL24 14W – Прожекторы, применяемые для акцентного освещения (используются для подсветки ветвей декоративных деревьев);
- LV-BOLLARD x4 H800 HE 7W – Светильники высотой 0,8 м, используемые как элементы локальной уличной подсветки (используются для создания освещения ландшафта по периметру здания).

Данные по техническим параметрам и характеристикам светового оборудования приведены в ведомости светильников таблице 9.

В таблице 10 приведены результаты расчета суммарной мощности светильников для щита фасадного освещения Щ-ФО, найденные по формулам 1, 9 и 10 аналогичным методом расчета из пункта 3.1 для ЩО и ЩАО.

Таблица 9 – Ведомость светильников

Наименование	Кол-во п (шт.)	Номинальная мощность Рном. (кВт)	Цветовая температура (К)	Свет. поток (Лм)	Угол рассеивания (град.)
BOX IMF24-2 W40-65H 54W	88	0,054	4000	4700	65
IntiGROUND IGR24-1 W40-60H 31W	6	0,031	4000	2450	60
IntiSPOT IRB7-1 W40-34DL48 7W	27	0,007	4000	710	34
IntiSTARK IMF36-2 W40-80H 79W	15	0,079	6800	15150	80
IntiTOP IRF12-1 W40-16DL24 14W	72	0,014	4000	1200	16
LV-BOLLARD x4 H800 HE 7W	52	0,007	4000	830	140

Таблица 10 – Результаты расчета нагрузок фасадного освещения для Щ-ФО

Результаты по щиту Щ-ФО	Кол-во светильников п (шт.)	Ррасч, кВт	cos φ	Ирасч, А
Значения расчетных параметров	263	8,64	0,95	13,13

Выводы для подраздела: в рамках расчета осветительной нагрузки основными потребителями архитектурной подсветки фасада здания являются светильники на фасаде и «болларды» по периметру здания. По результату расчета все выбранные светильники сведены в один общий щит фасадного освещения Щ-ФО и найдены суммарные расчетные значения мощности и тока.

3.3 Расчет наружного освещения

Для установки на территории ТРК г. Зеленогорск выбраны металлические опоры от завода-изготовителя ООО «ПКФ ПРОМСНАБРЕСУРС», используемых для уличного освещения:

Для освещения парковочной площадки выбраны высокомачтовые опоры высотой 16 метров следующих моделей:

- ОВМ-16-(3)-III-ц – Опора высокомачтовая с мобильной короной (типа ОВМ) высотой 16 м для 3 прожекторов, оцинкованная;
- ОВМ-16-(5)-III-ц – Мачта типа ОВМ высотой 16 м для 5 прожекторов, оцинкованная;
- ОВМ-16-(6)-III-ц – Мачта типа ОВМ высотой 16 м, для 6 прожекторов, оцинкованная.

Для освещения парка пешеходных тропинок и уличных дорог применяются 4-х и 8-метровые опоры следующих типов:

- ОГСКЛ-8,0-ц и ОГСКЛ-4,0-ц – Опора складывающаяся фланцевая граненая, высотой 8 и 4 метра соответственно, выполнена из высококачественного листового металлопроката, оцинкованная, для 1-2 прожекторов (в зависимости от типов кронштейна, идущих в комплекте: 1К1(15гр.)-2,0-0,5-ФЛ-тр.48 – под 1 консольный светильник, 1К2(15гр.)-2,0-0,5-ФЛ-90 гр.-тр.48 – под 2 разнонаправленных светильника на 180 градусов, 1К2(15гр.)-2,0-0,5-ФЛ-180 гр.-тр.48 с расположением двух светильников под 90 градусов).
- ОТФ(159/76)-4,0-ц – Опора трубчатая фланцевая из высококачественной стали с антикоррозийным покрытием высотой 4 метра.

Для наружного освещения территории выбран ряд светильников от производителя Волжского светотехнического завода «Луч».

Мачты ОВМ применены со светодиодными прожекторными светильниками IP65: SPARK OPTIC 2×50 CW A30 и SPUTNIK 8×50 CW AS3 в комплекте с кронштейном (П-образная скобка).

Для опор ОГСКЛ-8,0-ц и ОГСКЛ-4,0-ц выбраны светильники светодиодные консольные с IP65 (кронштейн П-образная скобка в комплекте): STAR 100 CW SH65.130, STAR 160 CW SH65.130.

На опору типа ОТФ(159/76)-4,0-ц подобран светильник торшерный светодиодный ДТУ 04-40-50 IP65 для освещения улиц и парков.

По периметру фасада зданий устанавливается группа светодиодных светильников IP65 (в комплекте с кронштейном П-образная скобка): FOCUS 200 CW T, FOCUS 100 CW T, FOCUS 40 CW.

Ниже приведена ведомость светильников с техническими и световыми характеристиками (таблица 11).

Таблица 11 – Ведомость светильников наружного освещения

Наименование	Кол-во (шт.)	Номинальная мощность Рном. (Вт)	Цветовая температура (К)	Световой поток (Лм)	Угол рассеивания (град.)
FOCUS 100 CW T	48	100	4000	11100	120
FOCUS 200 CW T	2	200	4000	22320	120
FOCUS 40 CW T	19	40	4000	4546	120
SPUTNIK 8x50 CW AS3	12	392	4000	40619	30
STAR 100 CW SH65.130	105	100	4000	9363	160
STAR 160 CW SH65.130	12	160	4000	15124	160
SPARK OPTIC 2x50 A30 (1.000)	124	100	4000	9442	30
ДТУ 04-40-50	76	41,3	4000	3932	90
Итого по нагрузке на ЦНО:	398	38622,8	-	-	-

Ведомость для опор и прожекторных мачт с установленным на них осветительным оборудованием сведена в таблицу 12.

Таблица 12 – Ведомость опор и прожекторных мачт с осветительным оборудованием

Наименование	Кол-во, шт.	Опора/Мачта	Кронштейн	Светильник
Осветительный комплекс 1:	69	ОГСКЛ-8,0-ц	1К1(15 гр.)-2,0-1,5-ФЛ-тр.48	STAR 100 CW SH65.130
Осветительный комплекс 2:	3	ОГСКЛ-4,0-ц	1К1(15 гр.)-2,0-1,5-ФЛ-тр.48	STAR 100 CW SH65.130
Осветительный комплекс 3:	11	ОГСКЛ-4,0-ц	1К2(15гр.)-2,0-1,5-ФЛ-180гр.-тр.48	STAR 100 CW SH65.130
Осветительный комплекс 4:	2	ОГСКЛ-8,0-ц	1К2(15гр.)-2,0-1,5-ФЛ-180гр.-тр.48	STAR 160 CW SH65.130
Осветительный комплекс 5:	5	ОГСКЛ-8,0-ц	1К2(15гр.)-2,0-1,5-ФЛ-180гр.-тр.48	STAR 160 CW SH65.130
Осветительный комплекс 6:	1	ОГСКЛ-8,0-ц	1К2(15гр.)-2,0-1,5-ФЛ-90гр.-тр.48	STAR 100 CW SH65.130
Осветительный комплекс 7:	1	ОГСКЛ-8,0-ц	1К2(15гр.)-2,0-1,5-ФЛ-90гр.-тр.48	STAR 100 CW SH65.130
Осветительный комплекс 8:	79	ОТФ(159/76)-4,0-ц	-	Светильник ДТУ 04-40-50
Осветительный комплекс 9:	8	ОВМ-16-(3)-III-ц	Скоба для монтажа светильников П-образная	Прожектор SPARK OPTIC 2×50 CW A30
Осветительный комплекс 10:	20	ОВМ-16-(5)-III-ц	Скоба для монтажа светильников П-образная	Прожектор SPARK OPTIC 2×50 CW A30
Осветительный комплекс 11:	2	ОВМ-16-(6)-III-ц	Скоба для монтажа светильников П-образная	Прожектор SPUTNIK 8×50 CW AS3
Осветительный комплекс 12:	19	-	Скоба для монтажа светильников П-образная	Прожектор FOCUS 40 CW
Осветительный комплекс 13:	50	-	Скоба для монтажа светильников П-образная	Прожектор FOCUS 100 CW T
Осветительный комплекс 14:	2	-	Скоба для монтажа светильников П-образная	Прожектор FOCUS 200 CW T

Для наружного освещения выполнен светотехнический расчет. Результаты освещённости сведены в таблицу 13, а номера позиций поверхностей отображены на карте расчетных поверхностей (рисунок 5).

В соответствии с нормами СП 52.13330.2016 [19] освещение пешеходных пространств следует проектировать исходя из нормы средней

горизонтальной освещенности и равномерности ее распределения на дорожном покрытии.

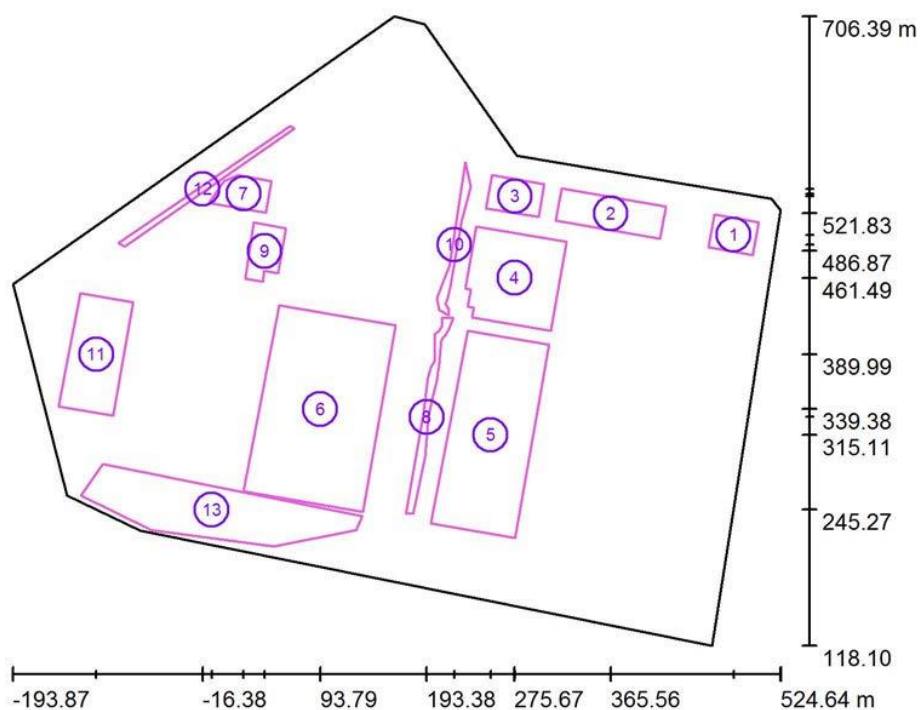


Рисунок 5 – Карта расчетных поверхностей

Таблица 13 – Светотехнический расчет поверхностей наружной сцены

№ поверхности	Наименование	Еср, Лк	E _{min} , Лк	E _{max} , Лк	E _{min} /Еср	E _{min} /E _{max}
1	Парковка	15	0,92	70	0,063	0,013
2	Парковка	7,06	1,08	23	0,152	0,047
3	Парковка	5,82	1,89	17	0,325	0,110
4	Парковка	8,98	1,25	24	0,140	0,053
5	Парковка	9,43	0,92	43	0,097	0,021
6	Парковка	9,18	1,22	58	0,133	0,021
7	Парковка	4,70	0,61	17	0,129	0,035
8	Дорога	36	8,36	87	0,234	0,096
9	Парковка	4,46	2,19	13	0,491	0,173
10	Дорога	33	14	60	0,413	0,228
11	Зона разгрузки	8,87	0,63	49	0,072	0,013
12	Дорога	24	10	44	0,418	0,230
13	Парк	8,59	0,55	162	0,064	0,030
Свод результатов:		9,86	0,55	162	0,060	0,000

Смоделирована наружная сцена территории, на которой располагается торговый комплекс и визуализировано распределение света в трехмерном пространстве на рисунке 6.

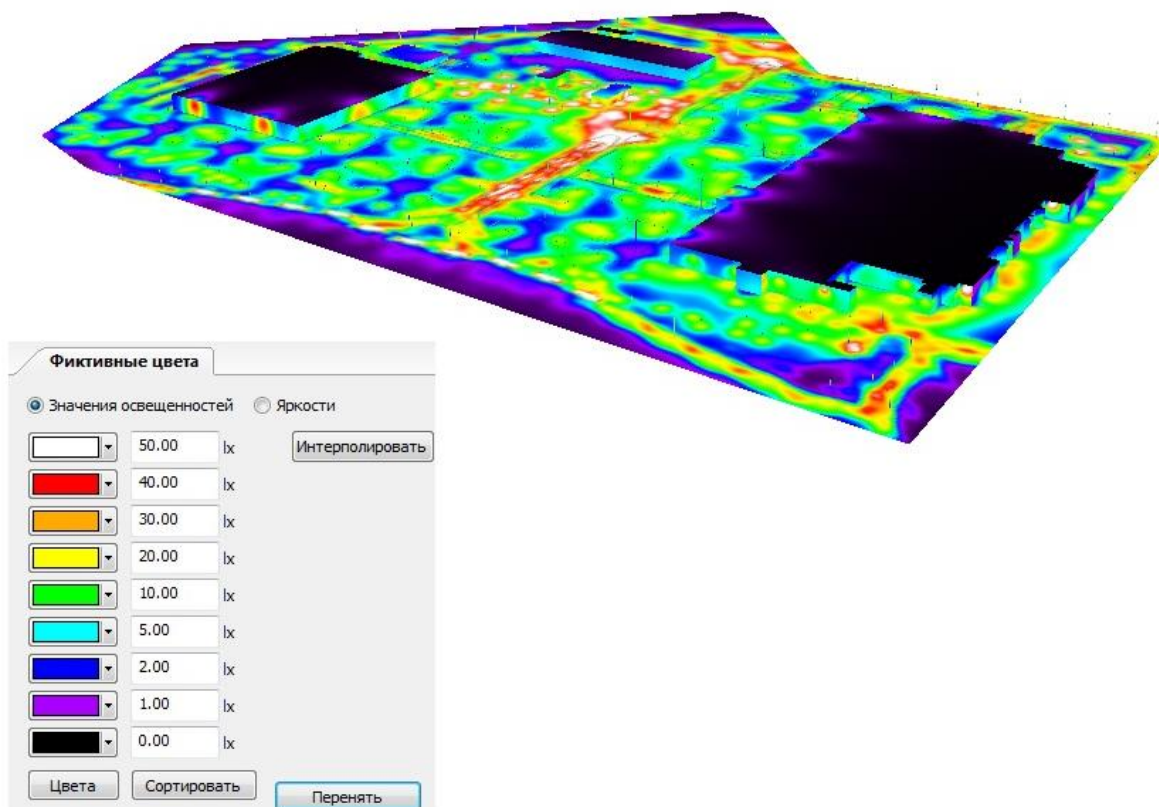


Рисунок 6 – Трехмерная модель распределение света наружного освещения

Управление наружного освещения производится при помощи датчика освещенности (фотореле) и таймера, установленного в щите ЩО, а также кнопками местного управления и дистанционно по проводной линии [27].

Схема управления освещением реализована двумя контакторами обеспечивающие вечернее освещение (30% светильников) и ночное освещение (100% светильников).

Для нагрузки «Вечер» в автоматическом режиме реализованы следующие логические схемы управления: 1 – от фотореле; 2 – от таймера; 3 – от фотореле и таймера; 4 – от фотореле или таймера.

Для нагрузки «Ночь» в автоматическом режиме реализована схема только от фотореле. Режим «Ночь» действует с 23.00 до 6.00.

Выводы по разделу: произведен выбор светильников со светодиодными источниками света для сети наружного освещения, выполнен расчет потребляемой мощности световой нагрузки и светотехнический расчет наружной сцены.

Для приема и дальнейшего распределения предусмотрен щит наружного освещения ЩНО. Для установки выбранного осветительного оборудования по территории торгового комплекса используются прожекторные мачты и осветительные опоры, а монтаж группы светодиодных осветительных приборов по периметру фасадов зданий выполняется с применением монтажных скоб и строительных конструкций зданий.

4 Расчет и выбор установок компенсации реактивной мощности

Исходя из положения в ПУЭ-7 п.1.2.22-1.2.24 «Уровни и регулирование напряжения, компенсация реактивной мощности» [14], максимальные значения коэффициента реактивной мощности для уровня напряжения ниже 1 кВ нормируется значением не более 0,35; а оптимальным значением для коэффициента реактивной мощности $\text{tg}\varphi$ является 0,33 (при котором $\cos\varphi$ равен 0,95 согласно формуле 3 из пункта 2).

Как следует из результатов расчета мощности нагрузки по стороне 0,4 кВ значения коэффициента реактивной мощности на секциях шин СШ1 и СШ2 составляют 0,52 и 0,60 соответственно, что свидетельствует о необходимости компенсации реактивной составляющей мощности. Потому наиболее действенным способом для снижения потребляемой реактивной мощности является использование установок компенсации реактивной мощности (УКРМ) [24].

В целях достижения данной цели необходимо предусмотреть в работе централизованную компенсацию реактивной мощности на секциях шин 0,4 кВ СШ1 и СШ2 с применением УКРМ, номинальная мощность которых определяется из расчета по формуле 11 и округляется к ближайшим стандартным значениям.

$$\begin{aligned} Q_{\text{УКР}} &= P_{\text{расч}} \cdot (\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_k); \\ Q_{\text{УКР(СШ1)}} &= 547,28 \cdot (0,52 - 0,33) = 103,47 \text{ квар}; \\ Q_{\text{УКР(СШ2)}} &= 517,13 \cdot (0,60 - 0,33) = 137,12 \text{ квар}; \end{aligned} \quad (11)$$

где $P_{\text{расч}}$ – активная расчетная мощность на секциях шин, кВт;

$\text{tg}\varphi_k$ – коэффициент реактивной мощности после компенсации равный 0,33.

Расчет компенсации реактивной мощности до и после компенсации сведен в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет компенсации реактивной мощности

Секция шин 0,4 кВ	Параметры до компенсации			Компенсация реактивной мощности			
	$P_{расч}$, кВт	$Q_{расч}$, квар	$tg\varphi$	$Q_{КУ}$, квар	$Q_{ном}$, квар	$tg\varphi_k$	$cos\varphi_k$
На СШ1:	547,28	284,08	0,52	103,47	100	0,34	0,95
На СШ2:	517,13	307,77	0,60	137,12	150	0,31	0,96

Выводы по разделу: с целью снижения реактивной мощности на секциях шин выполнен расчет мощности УКРМ и на основе округленных значений расчетной реактивной мощности компенсирующего устройства для секций шин выбраны конденсаторные установки автоматические со ступенчатым регулированием реактивной мощности следующих видов: УКРМ-0,4-100 УЗ с номинальной мощностью 100 квар для СШ1 и УКРМ-0,4-150 УЗ с мощностью 150 квар для СШ2.

5 Выбор силовых трансформаторов и дизель-генератора

Согласно техническим условиям № ЭС 53-06-22 от 25.08.2022г. на технологическое присоединение к электрическим сетям ООО «Байкал», предусматривается строительство трансформаторной подстанции ТП-1 на напряжение 6/0,4кВ.

Трансформаторная подстанция ТП-1 выполнена индивидуально пристроенной к зданию. Помещение РУ-6кВ, РУ-0,4кВ и камеры трансформаторов имеют отдельные выходы.

В суммарную максимальную мощность присоединяемых энергопринимающих устройств по I этапу также входит дополнительная нагрузка с заявленной суммарной мощностью 1200 кВА, т.к. от ТП будут получать электроснабжение еще два участка с дополнительной нагрузкой 600 кВА каждый. Сведем ведомость нагрузки на секциях шин по фидерам с учетом всей мощности нагрузки и компенсирующих устройств (таблицы 15 и 16).

Выбор силовых трансформаторов для установки на ТП-1, питающей проектируемый торговый комплекс исходит из расчета полной мощности нагрузки потребителей с учетом коэффициента загрузки и описан ниже [28].

Таблица 15 – Сводная ведомость нагрузок для секции шин СШ1

Фидер	На СШ1	Руст, кВт	Кс/Кодн	cos φ	tg φ	Ррасч, кВт	Qрасч, квар	Iрасч, А	Срасч, кВА
ф.1	РП1	484,61	0,65	0,91	0,47	218,51	102,15	348,15	241,21
ф.2	РП4	811,45	0,65	0,86	0,59	247,33	144,89	413,73	286,64
ф.3	ППУ(норм.)	69,11	1,00	0,90	0,48	69,11	32,98	110,53	76,58
ф.4	УКРМ1	-	-	-	-	-	-100,00	-	-
ф.5	Доп. нагр.	-	-	-	-	-	-	-	600,00
ф.6	Резерв	-	-	-	-	-	-	-	-
ф.7	Резерв	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого на СШ1		1365,18	1,00	0,95	0,34	534,95	180,02	814,68	1164,42

Таблица 16 – Сводная ведомость нагрузок для секции шин СШ2

Фидер	На СШ2	Руст, кВт	Кс/Кодн.	cos φ	tg φ	Ррасч, кВт	Qрасч, квар	Ирасч, А	Срасч, кВА
ф.8	РП2	586,01	0,65	0,88	0,54	335,40	181,28	550,30	381,26
ф.9	РП3	621,78	0,65	0,87	0,58	265,77	154,11	443,43	307,22
ф.10	ППУ(норм.)	-	-	-	-	-	-	-	-
ф.11	УКРМ2	-	-	-	-	-	-150,00	-	-
ф.12	Доп. нагр.	-	-	-	-	-	-	-	600,00
ф.13	Резерв	-	-	-	-	-	-	-	-
ф.14	Резерв	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого на СШ2		1207,79	1,00	0,96	0,31	601,17	185,39	908,04	1229,11

Расчет мощности трансформатора с учетом суммарной нагрузки СШ1 и СШ2 выполняется по формуле 12.

$$S_p = 0,7 \cdot (S_{СШ1} + S_{СШ2}) = 0,7 \cdot (1164,42 + 1229,11) = 1436,72 \text{ кВА}; \quad (12)$$

где $S_{СШ1}$ и $S_{СШ2}$ – полная мощность нагрузки на секциях шин СШ1 и СШ2 соответственно, кВА;

0,7 – коэффициент загрузки двухтрансформаторной подстанции [14].

Поскольку торговый комплекс относится ко второй категории надежности, то для него выбирается двухтрансформаторная подстанция с двумя трансформаторами сухого типа с литой изоляцией схема и группой соединений обмоток Д/Ун-11: ТСЛ 2000/6/0,4 [20]. Расшифровка марки трансформатора приведена ниже.

Трансформатор ТСЛ 2000/6/0,4:

ТСЛ – трехфазный сухой с литой изоляцией,

2000 кВА – номинальная рабочая мощность,

6 кВ – уровень напряжения на высокой стороне,

0,4 кВ – уровень напряжения на низкой стороне.

Технические данные по выбранному трансформатору приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические данные трансформатора ТСЛ 2000/6/0,4

Тип	S _н , кВА	U _н , кВ		U _к , %	Потери, кВт		I х.х.
		ВН	НН		P _{хх}	P _{кз}	
ТСЛ 2000/6/0,4	2000	10	0,4	6	3,3	15	0,6

Коэффициенты загрузки трансформаторов в нормальном режиме вычисляются по формулам 13-14, а также в аварийном режиме при отказе одного из трансформатора согласно формуле 15.

Проверка загрузки трансформаторов Т1 и Т2 в нормальном режиме:

$$K_{з(Т1)} = \frac{S_{сш1}}{S_T} = \frac{1164,4}{2000} = 0,58; \quad (13)$$

$$K_{з(Т2)} = \frac{S_{сш2}}{S_T} = \frac{1229,1}{2000} = 0,61; \quad (14)$$

где S_T – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Проверка загрузки в послеаварийном режиме:

$$K_3 = \frac{S_p}{S_T} = \frac{2393,44}{2000} = 1,19; \quad (15)$$

где S_p – суммарная мощность нагрузки двух секций шин, кВА.

Для проверки выбранных трансформаторов, полученные значения коэффициентов загрузки сравниваются с допустимыми значениями согласно неравенствам (формулы 16-17).

$$\begin{aligned} K_{з(макс.)} &\leq 0,7; \\ K_{з(Т1)} &= 0,58 \leq 0,7; \\ K_{з(Т2)} &= 0,61 \leq 0,7; \end{aligned} \quad (16)$$

где $K_{з(макс.)}$ – максимальный коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме, нормируемый согласно ПУЭ [14].

$$\begin{aligned} K_{з(авар.)} &\leq 1,2; \\ K_{з} = 1,19 &\leq 1,2; \end{aligned} \quad (17)$$

где $K_{з(авар.)}$ – максимальный коэффициент загрузки трансформатора в аварийном режиме, нормируемый согласно ПУЭ [14].

Исходя из полученных неравенств можно утверждать, что коэффициенты загрузки не превышают нормируемых значений, следовательно выбранные трансформаторы удовлетворяют данным условиям.

Для бесперебойного электроснабжения систем противопожарной защиты на панель ПЭСФЗ подводится резервное питание от дизель-генераторной установки (ДГУ). Мощность ДГУ выбирается с учетом мощности всей панели ПЭСФЗ в режиме пожара, рассчитанной в таблице 4 второго пункта, согласно которой расчетная мощность составляет 382,91 кВт.

В качестве данной установки выбран дизельный генератор (электростанция в контейнере) ТСС АД-500С-Т400-1РМ16, рассчитанный на основную (номинальную) мощность 500 кВт и максимальную мощность 550 кВт [22]. Дизельная электростанция оснащена 12-цилиндровым 4-тактным двигателем TSS Diesel TDH 562 12VTE и синхронным генератором бесщеточного типа TSS SA-500.

Выводы по разделу: исходя из рассчитанной нагрузки выбраны трансформаторы сухого типа ТСЛ 2000/6/0,4 для двухтрансформаторной подстанции и дизельную электростанцию ДГУ ТСС АД-500С-Т400-1РМ16 для питания ПЭСФЗ.

6 Выбор и проверка оборудования в сетях 0,4 и 6 кВ.

6.1 Выбор оборудования релейной защиты, автоматики и щитового оборудования

В помещении РУ-0,4 кВ в роли распределительного устройства к установке приняты низковольтные комплектные устройства на базе распределительных панелей ЩО70 (ООО «Евраз Автоматика») [11]. Вводные и секционные панели комплектуются автоматическими выключателями ВА07-332 ЗР ИЕК на 3200 А, линейные панели комплектуются автоматическими выключателями ВА88: для питания РП - ВА88-40 800А с уставкой 560А, для питания ПЭСФЗ - ВА88-43 1600А с уставкой 1250А и для УКРМ – ВА88-35Р 250А с уставкой 160А.

Для распределительных щитов РП-0,4 кВ выбраны панели следующих моделей (таблица 18):

Таблица 18 – Технические данные по оборудованию в ячейках ЩО70

Тип панели	Модель	Комплект аппаратуры в составе
Вводная	ЩО70-1-33	Амперметры 1000/5А; Вольтметр 500В; Разъединитель 1000А; Трансформаторы тока 1000/5А.
Линейная	ЩО 70-1-07	Автоматические выключатели 200А; Амперметры 200/5А; Разъединители 400А; Трансформаторы тока 200/5А.
Линейная	ЩО 70-1-27	Автоматические выключатели 100А; Амперметры 400/5А; Разъединители 400А; Трансформаторы тока 400/5А.
Секционная	ЩО 70-1-71	Разъединитель 1000А.
АВР	ЩО70-1-90	Блок АВР OptiSave N-232-УХЛ4 3200А и NA-222-G-УХЛ4; Автоматические выключатели 3200А

Для распределительной сети 0,4 кВ аналогично выбраны автоматические выключатели и рубильники из каталога производителя «ИЭК» [6]. Автоматические выключатели (QF) с функциями защиты цепи для распределительных щитов силовой и осветительной нагрузки модели ВА88-35 ЗР с максимальным номинальным током 250 А и электронным

расцепителем МР 211 ИЕК, а также ВА88-32 ЗР с максимальным током 100 А. На ячейках РП перед автоматами выбраны к установке рубильники (QS) следующей модели: выключатель-разъединитель ВР32И-37В71250 400А ИЕК с номинальным током 400 А. Номинальный ток уставки выключателей QF и QS определяется из расчетного тока нагрузки для каждой линии [25]. В роли корпуса для распределительных и для групповых щитов выбрана модель ЩРВ-12мз-0 36 УХЛЗ IP31 производства «ИЭК».

В помещении с распределительным устройством РУ-6кВ ТП установлено комплектное распределительное устройство (КРУ) серии КСО 366 фирмы ЗАО «Самарский Электротехнический Завод» («СЭТЗ») [10].

Камеры отходящих линий на ввод с исполнением схемы 3-400 и камера секционный разъединитель с исполнением схемы 14-600 комплектуется выключателями нагрузки типа ВН-10-630/20 УЗ на номинальный ток 630 А.

Отходящие линии на трансформатор в камерах типа 8ВВ-600 комплектуются вакуумными выключателями ВВ/TEL-10-12,5/630-У2-46 («Таврида Электрик») [1], рассчитанные на номинальный ток 630А каждый и позволяющие отключить токи КЗ номиналом до 20кА, а также встраивается электронное устройство релейной защиты типа БЭМП РУ (максимальная токовая защита, токовая отсечка). Релейная защита и автоматика трансформаторной подстанции ТП1 выполнена на базе реле БЭМП РУ-ТТ2 [12], установленных в релейных отсеках ячеек КРУ КСО 366.

На вводных линиях 6 кВ ТП1 устанавливается трансформатор тока (ТТ) ТОЛ-НТЗ-10-11 (НТЗ «Волхов») [21] с коэффициентом трансформации 600/5 и указатель тока короткого замыкания А-Сигнал КЗ.

Коммерческий учет электроэнергии организуется на вводах перед секциями шин. Устанавливается многофункциональное устройство СЭТ-4ТМ.03М с использованием многотарифных счетчиков электроэнергии для учета электроэнергии. Технический учет осуществляется на фидерах счетчиками аналогичной модели.

Для каждого щита арендаторов и уличных киосков устанавливается шкаф учета с трехфазным многотарифным счетчиком Меркурий-230 ART-03 PQRSIDN.

Автоматический ввод резерва (АВР) выполнен между двумя секциями шин 0,4 кВ с применением шкафа АВР-1 с встраиваемым блоком АВР модели OptiSave N-232-УХЛ4, а также для питания ПЭСПЗ применяются 2 шкафа АВР (АВР-2.1 и АВР-2.2) с блоком OptiSave NA-222-G-УХЛ4 от производителя «ЭНЕРГОПРОМ-АЛЬЯНС». При потере питания на одной из секций шин происходит включение секционного выключателя с выдержкой времени 0,5 сек. На АВР-2.1 приходит рабочий и резервный ввод питания от разных секций шин и выходит на ввод АВР-2.2, в который также будет подключен второй ввод от ДГУ, а на выходе подключена панель ПЭСПЗ-6 IP44 с 6 выходами. На рисунках изображены поясняющие схемы для АВР-1 (рисунок 7), а также для АВР-2.1 и АВР-2.2 (рисунок 8).

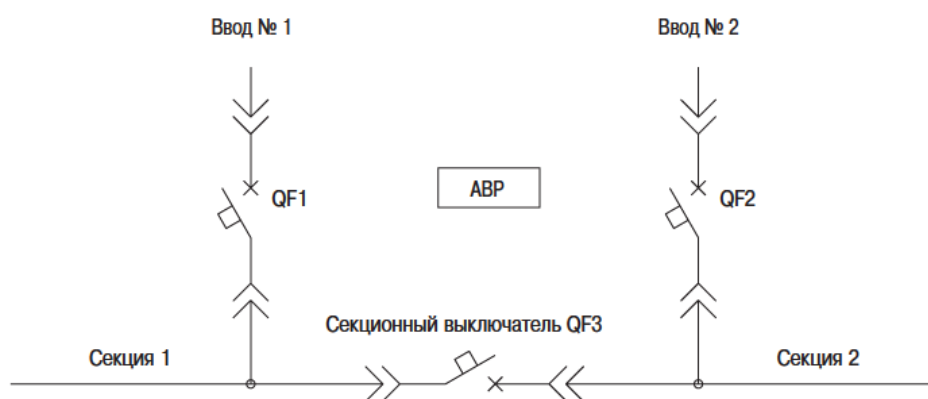


Рисунок 7 – Поясняющая схема для АВР OptiSave N-232-УХЛ4 (АВР-1)

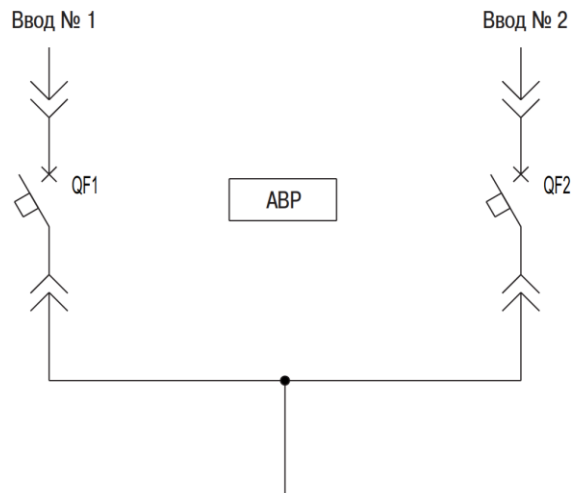


Рисунок 8 – Поясняющая схема для АВР OptiSave NA-222-G-УХЛ4 (АВР-2.1 и АВР-2.2)

Выводы по разделу: произведен выбор щитового и защитного оборудования для распределительной сети 0,4 кВ; для РУ 0,4 кВ и РУ 6 кВ. Далее в пункте 6.2 выполняется его проверка.

6.2 Расчет токов коротких замыканий на стороне высокого и низкого напряжения. Проверка оборудования в РУ 0,4 и 6 кВ.

Для проверки выбранного оборудования в РУ 0,4 и 6 кВ следует найти токи трехфазного короткого замыкания в двух точках: на шинах 6 кВ – точка К1 и на шинах 0,4 кВ – точка К2. Сперва необходимо изобразить расчетную схему с точками К1 и К2 и составить для данных точек КЗ соответствующие схемы замещения. Расчетная схема (рисунок 9) и схема замещения (рисунок 10) представлены ниже.

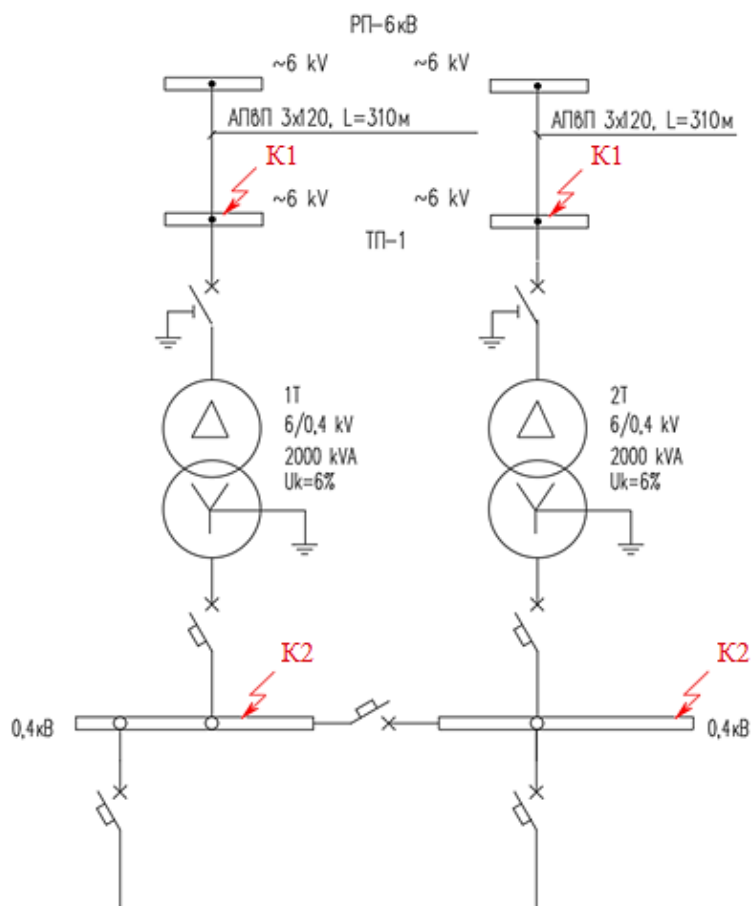


Рисунок 9 – Расчетная схема для расчета токов КЗ

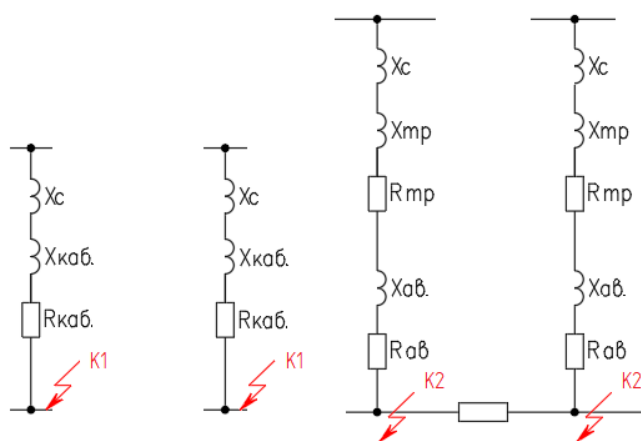


Рисунок 10 – Схема замещения для расчета токов КЗ

Ток трехфазного короткого замыкания (формула 18):

$$I_k^{(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot Z_{кз}}, \quad (18)$$

где $U_{л}$ – линейное напряжение точки КЗ, кВ;

$Z_{кз}$ – полное сопротивление точки КЗ, Ом.

Полное сопротивление в точке КЗ определяется из суммы активных и реактивных составляющих сопротивлений элементов сети (формула 19):

$$Z_{кз} = \sqrt{X_{\Sigma}^2 + R_{\Sigma}^2}, \quad (19)$$

где R_{Σ} – суммарное активное сопротивление точки КЗ, Ом;

X_{Σ} – суммарное реактивное сопротивление точки КЗ, Ом.

Суммарные сопротивления до точки К1 и К2 определяются следующим образом (формулы 20-23):

$$X_{\Sigma(K1)} = x_c + x_{каб.}, \quad (20)$$

$$R_{\Sigma(K1)} = r_{каб.}, \quad (21)$$

$$X_{\Sigma(K2)} = x_c + x_{тр.} + x_{ав.}, \quad (22)$$

$$R_{\Sigma(K2)} = r_{тр.} + r_{ав.}, \quad (23)$$

где x_c – реактивное сопротивление сети, Ом;

$r_{каб.}$ и $x_{каб.}$ – активное и реактивное сопротивление кабельных линий, Ом;

$r_{тр.}$ и $x_{тр.}$ – активное и реактивное сопротивление трансформатора, Ом;

$r_{ав.}$ и $x_{ав.}$ – активное и реактивное сопротивление автоматов и аппаратов коммутации, Ом.

Сопротивление кабельных линий определяется по формулам 24 – 25:

$$r_{\text{каб.}} = L_{\text{каб.}} \cdot r_0, \quad (24)$$

$$x_{\text{каб.}} = L_{\text{каб.}} \cdot x_0, \quad (25)$$

где $r_{\text{каб.}}$ и $x_{\text{каб.}}$ – удельное активное и индуктивное сопротивление кабельных линий, мОм/м;

$L_{\text{каб.}}$ – длина кабельной линии, м.

Значения удельных сопротивлений кабельных линий определяется по таблице 1.9.5 из методического пособия Шеховцева В.П. [23], согласно которой для кабеля с алюминиевой жилой с сечением 120 мм² и изоляцией из сшитого полиэтилена значения r_0 и x_0 равны 0,261 и 0,08 мОм/м соответственно.

Сопротивление силового трансформатора определяется расчетным путем по формулам 26-28, а также по параметрам трансформатора приведенные в таблице 17:

$$r_{\text{тр.}} = P_{\text{к}} \cdot \left(\frac{U_{\text{нн}}}{S_{\text{т}}} \right)^2 \cdot 10^6, \quad (26)$$

$$z_{\text{тр.}} = u_{\text{к}} \cdot \left(\frac{U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{т}}} \right) \cdot 10^4, \quad (27)$$

$$x_{\text{тр.}} = \sqrt{z_{\text{тр.}}^2 - r_{\text{тр.}}^2}, \quad (28)$$

где $P_{\text{к}}$ – потери мощности КЗ трансформатора, кВт;

$U_{\text{нн}}$ – линейное напряжение на низком напряжении (НН), кВ;

$S_{\text{т}}$ – полная мощность трансформатора, кВА;

$z_{\text{тр.}}$ – полное сопротивление трансформатора, Ом;

$u_{\text{к}}$ – напряжение КЗ трансформатора, %.

Сопротивление коммутационных и защитных аппаратов определяется по таблице 1.9.3 из методического пособия Шеховцева В.П. [23].

Результаты расчета токов КЗ для точек К1 и К2 сведены в таблицу 19.

Таблица 19 – Ведомость по расчету токов КЗ

Точка КЗ	Место КЗ	R_{Σ} , Ом	X_{Σ} , Ом	$Z_{КЗ}$	$I_{к}^{(3)}$, кА
К1	СШ 6 кВ	0,149	0,542	0.562	6,62
К2	СШ 0,4 кВ	0,00127	0,00591	0.006	38,2

Согласно найденным токам КЗ проводится проверка оборудования, установленного в РУ 0,4 и 6 кВ:

Проверка автоматических выключателей выполняется по формулам 29-34:

- По номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном}, \quad (29)$$

где $U_{уст}$ – номинальное напряжение сети, кВ;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение оборудования, кВ.

- По номинальному длительному току:

$$I_{раб.мах} \leq I_{ном}, \quad (30)$$

где $I_{раб.мах}$ – максимальный расчетный рабочий ток, А;

$I_{ном}$ – номинальный ток оборудования, А.

- По электродинамической стойкости:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{КЗ} \leq i_{дин.}, \quad (31)$$

где $i_{дин}$ – ток электродинамической стойкости (определяется по каталогу), кА;

i_y – ударный ток, кА;

$I_{КЗ}$ – ток трехфазного КЗ, кА;

K_y – ударный коэффициент (для 0,4 кВ равен 1,6 и для 6 кВ равен 1,4) [23].

– По термической стойкости:

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}, \quad (32)$$

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a), \quad (33)$$

где B_k – тепловой импульс по расчету, $A^2 \cdot c$;

$I_{\text{тер}}$ – предельный ток термической стойкости, А;

$t_{\text{тер}}$ – длительность протекания предельного тока термической стойкости (определяется по каталогу), с;

$t_{\text{откл}}$ равен 0,5 – время отключения КЗ, с;

T_a равен 0,01 – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, с.

– По отключающей способности:

$$I_{\text{КЗ}} \leq I_{\text{откл}}, \quad (34)$$

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

Результаты проверки выключателей приведены в таблицах 20 и 21.

Таблица 20 – Проверка выключателей в РУ 6 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	
	Вводной и секционный	Линейный (на трансформатор)
$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$
$I_{раб.мах} = 191,2 \text{ А}$	-	$I_{раб.мах} = 630 \text{ А}$
$I_{раб.мах} = 366,5 \text{ А}$	$I_{раб.мах} = 630 \text{ А}$	-
$I_{кз} = 6,62 \text{ кА}$	$I_{откл} = 21 \text{ кА}$	$I_{откл} = 21 \text{ кА}$
$i_y = 1,4 \cdot 1,4 \cdot 6,62 \text{ кА}$ $i_y = 12,9 \text{ кА}$	$i_{дин} = 16 \text{ кА}$	$i_{дин} = 16 \text{ кА}$
$B_k = 6,62^2 \cdot (0,5 + 0,01) \text{ кА}$ $B_k = 22,78 \text{ кА}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 441 \text{ кА}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 441 \text{ кА}$

Таблица 21 – Проверка выключателей в РУ 0,4 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{уст} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 0,69 \text{ кВ}$
$I_{раб.мах} = 3094 \text{ А}$	$I_{раб.мах} = 3200 \text{ А}$
$I_{кз} = 38,2 \text{ кА}$	$I_{откл} = 65 \text{ кА}$
$i_y = 1,6 \cdot 1,4 \cdot 38,2 \text{ кА}$ $i_y = 85,57 \text{ кА}$	$i_{дин} = 143 \text{ кА}$
$B_k = 38,2^2 \cdot (0,5 + 0,01) \text{ кА}$ $B_k = 744,2 \text{ кА}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 4225 \text{ кА}$

Проверка сборных шин 0,4 кВ:

- По номинальному напряжению (формула 29).
- По длительно допустимому току (формула 30).
- По электродинамической стойкости (формула 31).
- По термической стойкости (формула 35):

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \leq S, \quad (35)$$

где S_{\min} – минимальное термически устойчивое сечение шин, мм^2 ;

S – площадь поперечного сечения (определяется по каталогу), мм^2 ;

C – постоянная времени, зависящая от вида изоляции и материала жил кабеля, $\text{А} \cdot \text{с} / \text{мм}^2$ (для алюминия равна $167 \text{ А} \cdot \text{с} / \text{мм}^2$) [23].

Результаты проверки приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Проверка сборных шин 0,4 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{уст} = 0,4$ кВ	$U_{ном} = 0,4$ кВ
$I_{раб.мах} = 3094$ А	$I_{раб.мах} = 4000$ А
$S_{min} = 163$ мм ²	$S = 1875$ мм ²
$i_y = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 38,2$ кА $i_y = 86,4$ кА	$i_{дин} = 100$ кА

Проверка кабелей 0,4 кВ и 6 кВ:

- По номинальному напряжению (формула 29).
- По номинальному длительному допустимому току (формула 30).
- По допустимому току КЗ (формула 36):

$$I_{КЗ} \leq I_{КЗ(пасп.)}, \quad (36)$$

где $I_{КЗ(пасп.)}$ – паспортное значение тока КЗ, кА.

- По потерям напряжения для кабеля 0,4 кВ (формула 37):

$$\Delta U\% = \left(\frac{P_{расч} \cdot l}{c \cdot S} \right) \cdot 100\%, \quad (37)$$

где c – коэффициент, учитывающий напряжение, систему питания и материал кабелей, Ом/км (для меди коэффициент равен 77) [23];

l – длина линии, км.

- По потерям напряжения для кабеля 6 кВ (формула 38):

$$\Delta U\% = \left(\frac{\sqrt{3} \cdot I_{расч} \cdot (\cos \varphi \cdot r_0 + \sin \varphi \cdot x_0) \cdot l}{U_{ном}} \right) \cdot 100\%, \quad (38)$$

где r_0 – активное погонное сопротивление кабеля, Ом/км;

x_0 – реактивное погонное сопротивление кабеля, Ом/км.

Результаты проверки приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Проверка кабелей в РУ 6 кВ и 0,4 кВ

Кабель 6 кВ		Кабель 0,4 кВ	
Расчетные данные	Каталожные данные	Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{уст} = 6$ кВ	$U_{ном} = 6$ кВ	$U_{уст} = 0,4$ кВ	$U_{ном} = 0,66$ кВ
$I_{раб.мах} = 191,2$ А	$I_{раб.мах} = 403$ А	$I_{раб.мах} = 3094$ А	$I_{раб.мах} = 3546$ А
$I_{кз} = 6,62$ кА	$I_{кз(пасп.)} = 11,3$ кА	$I_{кз} = 38,2$ кА	$I_{откл} = 201$ кА
$\Delta U = 0,1\%$	Не более 5%	$\Delta U = 0,18\%$	Не более 5%

Проверка трансформаторов тока:

- По номинальному напряжению (формула 29),
- По номинальному току (формула 30),
- По электродинамической стойкости (формула 31),
- По термической стойкости (формулы 32-33),
- По нагрузке вторичной цепи ТТ:

В соответствии с ПУЭ: трансформаторы тока для включения электроизмерительных приборов должны иметь класс точности не ниже 3 [14]. Для обеспечения данного класса точности необходимо чтобы действительная нагрузка вторичной цепи Z_2 не превышала нормированной для данного класса точности нагрузки $Z_{2ном}$, равной 5 ВА (формула 39):

$$Z_2 \approx R_{приб} + R_{пров} + R_{конт} \leq Z_{2ном}, \quad (39)$$

где $R_{приб}$ – сопротивление нагрузки от приборов, Ом;

$R_{пров}$ – сопротивление нагрузки от проводов, Ом;

$R_{конт}$ – переходное сопротивление контактов, Ом (равное 0,03 Ом).

Нагрузка от приборов определяется по их каталожным данным согласно формуле 40. В данном случае из приборов подключены амперметры (0,1 Ом), ваттметр (2 Ом) и счетчик электроэнергии (0,5 Ом):

$$R_{\text{приб}} = 0,1 + 2,0 + 0,5 = 2,6 \text{ Ом}. \quad (40)$$

Нагрузка от проводов определяется по формуле 41:

$$R_{\text{пров}} = \frac{L}{\gamma \cdot S} = \frac{10}{57 \cdot 4} = 0,04 \text{ Ом}, \quad (41)$$

Где S – сечение провода, мм^2 (используется провод с сечением 4 мм^2);

γ – удельная проводимость провода, $\text{м/Ом}\cdot\text{мм}^2$ ($57 \text{ м/Ом}\cdot\text{мм}^2$ – для медной жилы);

L – длина провода, м.

В результате нагрузка вторичной цепи составляет:

$$Z_2 = 2,6 + 0,04 + 0,03 = 2,67 \text{ ВА} \leq 5 \text{ ВА}$$

Вывод по разделу: в результате проведенного расчета найдены токи трехфазного КЗ в точках К1 (на шины 6 кВ) и К2 (на шины 0,4 кВ) согласно которым выбрано щитовое и защитное оборудование на сторонах высокого и низкого напряжения. Исходя из вышеописанных расчетов, выбранное оборудование прошло условия проверки.

7 Расчет внутриплощадочных сетей электроснабжения

Распределительная сеть 0,4 кВ представляет собой пятижильную кабельную проводку TN-S, выполненную в основном открыто в кабельных лотках 1, 2, 3 и 4-х уровней, а также в пластиковых трубах. Рядом с лотками электроснабжения линий силовой и осветительной нагрузки располагается лоток для слаботочных устройств.

Питающие кабельные линии как для групповой, так и для распределительной сети выполнены проводом с медными токопроводящими жилами и поливинилхлоридной изоляцией, не поддерживающей горение (малодымная, без выделения галогенов).

Для данного объекта выбран кабель типа ППГнг(А)-HF для групповой прокладки и кабель типа ППГнг(А)-FRHF для электроприемников системы аварийного электроснабжения и аварийного освещения. Данные типы кабели соответствуют стандартам по техническим требованиям ГОСТ 31996-2012 [3] и пожарной безопасности согласно ГОСТ 31565-2012 [2].

Расшифровка кабелей ППГнг(А)-HF и ППГнг(А)-FRHF:

П – изоляция из полимерной композиции,

П – оболочка из полимерной композиции,

Г – без защитного покрова,

нг(А) – не распространяет горение при групповой прокладке по категории А,

FR – огнестойкий,

HF – не выделяет коррозионно-активных газообразных продуктов при горении и тлении.

Для розеточной сети и сети освещения приняты сечения кабелей не менее 2,5 мм².

Выбор сечения кабеля выполняется исходя из условий неравенства (формула 42):

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{расч.}}, \quad (42)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно-допустимый ток кабеля, А;

$I_{\text{расч.}}$ – расчетный ток нагрузки на кабельной линии, А.

В связи с тем, что указанные кабели прокладываются в лотках, следовательно, допустимый ток для них выбирается при прокладке в воздухе.

Сечения питающих и распределительных линий, прокладываемых совместно в общем лотке приняты с учетом коэффициентов совместной прокладки (в коробах, на лотках и т.п.) и количества параллельно прокладываемых кабелей, лотков, коробов, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50571.5.52-2011 «Электроустановки низковольтные. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки» [4]. Длительно допустимые токи кабелей с учётом указанных коэффициентов составляют более, нежели величины расчётных токов линий.

Второе условие проверки кабелей определяется потерей напряжения в конце линии согласно гл.5.2 пункта 5.2.4 РД 34.20.185-95 [15] – потери напряжения в линиях 0,4 кВ не должны превышать 5% (формула 43):

$$\Delta U\% = \left(\frac{P_{\text{расч}} (r_0 + \text{tg}\varphi \cdot x_0) \cdot l}{n_{\text{каб.}} \cdot U_{\text{ном.}}^2} \right) \cdot 100\% \geq 5\% , \quad (43)$$

где $n_{\text{каб}}$ – количество параллельно проложенных кабелей, шт.

Данные по выбранным кабелям распределительной сети сведены в кабельный журнал (таблица 24).

Таблица 24 – Кабельный журнал для распределительной сети

№ кабеля	Начало	Конец	Марка	Количество кабелей и сечение жил	l, м	Ирасч, А	Идоп.ут, А	ΔU%
N1.1	РП-1	ЩА-1.024	ППГнг(А)-HF	1(5×35)	285	96,55	101,928	2,60
N1.2	РП-1	ЩА-1.041	ППГнг(А)-HF	1(5×25)	250	71,38	83,328	2,76
N1.3	РП-1	ЩНО	ППГнг(А)-HF	1(5×16)	20	58,68	62,496	0,21
N1.4	РП-1	ЩС-Н	ППГнг(А)-HF	1(5×35)	20	87,58	101,928	0,19
N1.5	РП-1	ЩО-1	ППГнг(А)-HF	1(5×6)	45	18,95	34,224	0,95
N1.6	РП-1	ЩО-2	ППГнг(А)-HF	1(5×6)	210	20,50	34,224	1,72
N1.7	РП-1	ЩО-5	ППГнг(А)-HF	1(5×2,5)	75	4,51	20,088	0,54
N1.8	РП-1	ВРУ-ИТП	ППГнг(А)-HF	1(5×10)	385	35,47	46,872	2,17
N1.9	РП-1	ЩР-Б1	ППГнг(А)-HF	1(5×25)	45	62,31	83,328	0,42
N1.10	РП-1	ЩА-1.046	ППГнг(А)-HF	1(5×16)	225	43,54	62,496	1,51
N1.11	РП-1	ЩР-УК	ППГнг(А)-HF	1(5×10)	150	32,95	46,872	1,64
N2.1	РП-2	ЩВ-2	ППГнг(А)-HF	1(5×95)	220	151,67	194,184	1,81
N2.2	РП-2	ЩА-1.091	ППГнг(А)-HF	1(5×70)	70	143,87	156,984	0,78
N2.3	РП-2	ЩВ-1	ППГнг(А)-HF	1(5×50)	80	102,60	124,248	0,56
N2.4	РП-2	ЩР-Б2	ППГнг(А)-HF	1(5×70)	45	126,86	156,984	2,01
N2.5	РП-2	ЩО-3	ППГнг(А)-HF	1(5×6)	255	17,61	34,224	2,48
N2.6	РП-2	ЩО-4	ППГнг(А)-HF	1(5×6)	340	28,24	34,224	2,70
N2.7	РП-2	ЩР-ЗР.1	ППГнг(А)-HF	1(5×2,5)	50	12,51	20,088	1,39
N2.8	РП-2	ЩА-1.042	ППГнг(А)-HF	1(5×25)	120	62,56	83,328	1,27
N3.1	РП-3	ЩР-ЗР	ППГнг(А)-HF	1(5×2,5)	70	12,51	20,088	1,11
N3.2	РП-3	ЩР-5	ППГнг(А)-HF	1(5×2,5)	75	13,04	20,088	1,15
N3.3	РП-3	ЩР-Ком.	ППГнг(А)-HF	1(5×2,5)	55	14,06	20,088	0,88
N3.4	РП-3	Щ-АД	ППГнг(А)-HF	1(5×2,5)	255	8,40	20,088	1,56
N3.5	РП-3	ЩР-1	ППГнг(А)-HF	1(5×10)	45	33,32	46,872	0,57
N3.6	РП-3	ЩР-3	ППГнг(А)-HF	1(5×10)	255	36,12	46,872	1,82
N3.7	РП-3	ЩА-1.018	ППГнг(А)-HF	1(5×16)	345	56,13	62,496	1,27
N3.8	РП-3	ЩА-1.014	ППГнг(А)-HF	1(5×35)	325	84,20	101,928	1,68
N3.9	РП-3	ЩС-КНС	ППГнг(А)-HF	2(5×95)	45	311,55	388,368	0,42
N3.10	РП-3	ЩР-Б3	ППГнг(А)-HF	1(5×50)	255	116,53	124,248	2,25

Продолжение таблицы 24

№ кабеля	Начало	Конец	Марка	Количество кабелей и сечение жил	l, м	Ирасч, А	Идоп, А	ΔU%
N4.1	РП-4	ВРУ-ИТП	ППГнг(А)-HF	1(5×10)	380	35,47	46,872	2,20
N4.2	РП-4	ЩР-2	ППГнг(А)-HF	1(5×6)	210	25,18	34,224	1,98
N4.3	РП-4	ЩР-4	ППГнг(А)-HF	1(5×16)	340	54,10	62,496	2,87
N4.4	РП-4	ЩО-Р	ППГнг(А)-HF	1(5×6)	255	21,27	34,224	2,60
N4.5	РП-4	ЩА-1.072	ППГнг(А)-HF	1(5×16)	150	49,42	62,496	1,43
N4.6	РП-4	Щ-ФО	ППГнг(А)-HF	1(5×2,5)	240	13,13	20,088	2,44
N4.7	РП-4	ЩС-Каток	ППГнг(А)-HF	1(5×25)	100	62,56	83,328	1,06
N4.8	РП-4	ЩР-С	ППГнг(А)-HF	1(5×2,5)	300	10,75	20,088	2,18
N4.9	РП-4	ЩР-ФК	ППГнг(А)-HF	1(5×70)	340	153,27	156,984	2,83
N4.10	РП-4	ЩВ-3	ППГнг(А)-HF	1(5×70)	345	152,28	156,984	1,78
N4.11	РП-4	ВРУ-Котел	ППГнг(А)-HF	1(5×25)	180	63,70	83,328	0,76
N5.1	ПЭСПЗ	ЩИБП-1	ППГнг(А)-FRHF	1(5×16)	50	65,89	83,2	0,77
N5.2	ПЭСПЗ	Щ-ОЗК	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	240	2,88	27,2	1,53
N5.3	ПЭСПЗ	ЩР-ПД	ППГнг(А)-FRHF	1(5×50)	245	148,00	167,2	2,51
N5.4	ПЭСПЗ	ЩР-ПН	ППГнг(А)-FRHF	2(5×50)	370	282,28	334,4	3,44
N5.5	ПЭСПЗ	ЩИБП-2	ППГнг(А)-FRHF	1(5×10)	50	44,64	62,4	0,92
N5.6	ПЭСПЗ	КША-01	ППГнг(А)-FRHF	1(5×16)	200	68,77	83,2	0,62
N5.1.1	ЩИБП-1	Щ-БП	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	50	19,19	27,2	1,39
N5.1.2	ЩИБП-1	Щ-СБ1	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	25	22,71	27,2	0,82
N5.1.3	ЩИБП-1	ЩАУ-П1	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	50	8,00	27,2	0,34
N5.1.4	ЩИБП-1	ЩАУ-П2	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	350	8,00	27,2	1,52
N5.1.5	ЩИБП-1	ЩАУ-П3	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	350	8,00	27,2	1,52
N5.5.1	ЩИБП-2	ЩАО-1	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	40	1,69	27,2	0,18
N5.5.2	ЩИБП-2	ЩАО-2	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	200	1,24	27,2	0,53
N5.5.3	ЩИБП-2	ЩАО-3	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	250	0,84	27,2	0,80
N5.5.4	ЩИБП-2	ЩАО-4	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	300	3,00	27,2	1,65
N5.5.5	ЩИБП-2	ЩАО-5	ППГнг(А)-FRHF	1(5×2,5)	70	0,27	27,2	0,11
N5.5.6	ЩИБП-2	ЩР-АПС	ППГнг(А)-FRHF	1(5×6)	30	37,58	44,8	1,63

Кабельная линия от распределительных пунктов до секций шин представляет собой четырехпроводную сеть с объединенным PEN проводником и выполняется одножильным кабелем ППГнг(А)-HF.

Резервное питание систем противопожарной защиты от ПЭСПЗ до ДГУ и основное питание панели от секций шин выполнено четырехпроводным одножильным кабелем ППГнг(А)-FRHF, не поддерживающий горение и не содержащий галогенов.

Поскольку РП подключены к разным секциям шин то в случае обрыва питания на одной из секций между двумя РП расположенными внутри электрощитовой 1 и 2 предусмотрена резервная перемычка выполненная аналогичным кабелем ППГнг(А)-HF. Проверка данных кабелей по допустимому току выполняется с учетом аварийного режима работы трансформаторов, где кабели W1.1 и W2.1 несут нагрузку РП1 и РП2, а кабели W1.2 и W2.2 берут нагрузку от РП3 и РП4 соответственно.

Произведем выбор сечения кабелей и сведем результаты в таблицу 25.

Таблица 25 – Кабельный журнал для внешней сети

№ кабеля	Начало	Конец	Марка	Количество кабелей и сечение жил	Длина, м	Iрасч, А		Iдоп, А
						Норм.	Авар.	
W1.1	ВРУ Ф.1	РП-1	ППГнг(А)-HF	4(1×70)	15	348,15	898,09	948
W1.2	ВРУ Ф.2	РП-4	ППГнг(А)-HF	4(1×70)	15	413,73	857,16	948
W1.3	ВРУ Ф.3	АВР 2.1	ППГнг(А)-FRHF	4(1×50)	35	110,53	612,46	776
W2.1	ВРУ Ф.8	РП-2	ППГнг(А)-HF	4(1×70)	15	550,30	898,09	948
W2.2	ВРУ Ф.9	РП-3	ППГнг(А)-HF	4(1×70)	15	443,43	857,16	948
W2.3	ВРУ Ф.10	АВР 2.1	ППГнг(А)-FRHF	4(1×50)	35	-	612,46	776
W3.1	АВР 2.2	ПЭСПЗ	ППГнг(А)-FRHF	4(1×50)	50	110,53	612,46	776
W3.2	АВР 2.2	ДГУ	ППГнг(А)-FRHF	4(1×50)	70	-	612,46	776

Вывод по разделу: в данном разделе был произведен выбор кабельной продукции для внешней и внутренней сети, а также выполнена проверка по допустимому току и по потерям напряжения в конце кабеля.

8 Молниезащита и заземление

В здании организуется система заземления и молниезащиты, включающая в себя основную систему уравнения потенциалов, в объеме всех входящих металлических труб коммуникаций (горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления и т.п.) и металлоконструкций здания.

Молниеприемником служит молниеприемная сетка, выполненная стальной оцинкованной катанкой диаметром 8 мм, уложенной под теплоизоляцией кровли с шагом сетки не более 10×10м. К молниеприемной сетке присоединяются все выступающие над кровлей металлические элементы: телеантенна, водосточные воронки, металлические лестницы, металлическое ограждение кровли.

Так как ТП-1 выполнена индивидуально пристроенной к зданию, то для контура заземления используется контур молниезащиты всего здания, расположенного по периметру здания.

Заземляющее устройство на ТП-1 принято общим для 6кВ и 0,4 кВ. Сопротивление заземляющего устройства должно быть в любое время года не более 4 Ом.

В качестве основного заземлителя принимается искусственный заземлитель – контур заземления, состоящий из вертикальных заземлителей (уголка 50×50×5) соединенных замкнутым горизонтальным заземлителем (полосой 50×5), проложенной на глубине 0,8 м от планировочной отметки земли. Верхние концы вертикальных заземлителей расположены на глубине 0,7 м от планировочной отметки земли. Все соединения выполняются методом сварки.

Горизонтальные заземлители выполняются стальной оцинкованной полосой 50×5 мм на глубине 0,7м по периметру здания ТП-1, от фундамента на расстоянии 1м, а вертикальные – стальным уголком 50×50×5 мм длиной 3м.

Внутри помещения выполняется внутренний контур стальной полосой 50×5 мм на расстоянии 0,5 м от чистого пола.

Расчет заземляющего устройства ведется согласно формулам 44-50.

Сперва определяется уточненное удельное сопротивление грунта:

$$\rho = \rho_{\text{уд}} \cdot \psi = 120 \cdot 1 = 120 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (44)$$

где $\rho_{\text{уд}}$ – удельное сопротивление грунта (для суглинка принят равным 120), Ом·м [23];

ψ – коэффициент сезонного изменения удельного сопротивления.

Сопротивление вертикального электрода определяется формулой:

$$\begin{aligned} R_{\text{в}} &= \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot b} \right) + 0,5 \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \right) = \\ &= \frac{0,366 \cdot 120}{3} \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,05} \right) + 0,5 \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) \right) = 33,02 \text{ Ом}; \end{aligned} \quad (45)$$

где L – длина уголка, м;

b – ширина уголка, м;

t – расстояние от поверхности земли до середины электрода, м.

Сопротивление горизонтального электрода определяется по формуле:

$$R_{\text{г}} = \frac{0,366 \cdot \rho}{L_{\text{п}}} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot L_{\text{п}}^2}{b_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}}} \right) = \frac{0,366 \cdot 120}{940} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 940^2}{0,05 \cdot 0,7} \right) = 0,36 \text{ Ом}; \quad (46)$$

где $L_{\text{п}}$ – длина полосы, м;

$b_{\text{п}}$ – ширина полосы, м;

$t_{\text{п}}$ – расстояние от поверхности земли до середины полосы, м.

Коэффициент использования согласно таблице 1.9.5 [23]:

- для вертикальных электродов $K_{\text{ив}}$ равен 0,76;
- для горизонтальной полосы $K_{\text{иг}}$ равен 0,56.

Суммарное сопротивление полосы и вертикальных электродов находится по формулам:

$$R_{\Gamma(\text{сум})} = \frac{R_{\Gamma}}{K_{\text{ИГ}}} = \frac{0,36}{0,56} = 0,64 \text{ Ом}; \quad (47)$$

$$R_{\text{В}(\text{сум})} = \frac{R_{\text{В}}}{n \cdot K_{\text{ИВ}}} = \frac{33,02}{20 \cdot 0,76} = 2,17 \text{ Ом}; \quad (48)$$

где n – количество вертикальных электродов, шт.

Полное сопротивление заземляющего устройства вычисляется по формуле:

$$R_3 = \frac{R_{\text{В}(\text{сум})} \cdot R_{\Gamma(\text{сум})}}{R_{\text{В}(\text{сум})} + R_{\Gamma(\text{сум})}} = \frac{2,17 \cdot 0,64}{2,17 + 0,64} = 0,49 \text{ Ом}. \quad (49)$$

Окончательным этапом необходимо проверить сопротивление заземляющего устройства в соответствии с требованиями ПУЭ по формуле:

$$R_3 \leq R_{\text{норм}}, \quad (50)$$

$$0,49 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}.$$

Вывод по разделу: по результатам раздела описана система заземления и молниезащиты, а также выполнен расчет для заземляющего устройства, в качестве которых принят контур заземления, состоящий из вертикальных заземлителей (уголков) в количестве 20 шт., соединенных замкнутым горизонтальным заземлителем (стальной полосой) длиной 940 метров.

Заключение

По результатам выпускной квалификационной работы разработана система электроснабжения торгового развлекательного комплекса в городе Зеленогорск.

Детально описана характеристика объекта. Исходя из анализа электрических нагрузок выделяются потребители I категории (аварийное и эвакуационное освещение, противопожарное оборудование и автоматика) и потребители II категории (розеточные сети, рабочее освещение, технологическое оборудование).

Выполнен расчет мощности и тока для щитов силовых и осветительных нагрузок с учетом коэффициента спроса. Вся нагрузка от щитов с потребителями II категории распределена на четыре РП, попарно расположенные в двух электрощитовых и подключенные на две разные секции шин, а потребители I категории подключены к панели ПЭСПЗ и рассчитаны в условиях нормального и пожарного режима работы.

В рамках расчета световой нагрузки для внутреннего освещения выбраны светильники от бренда «Световые технологии», для фасадного выбраны светильники «INTILED», а для наружного освещения светильники завода «Луч» с установкой на опоры. Для помещений внутри здания ТРК и для территории наружной сцены выполнен расчет светотехнический и расчет нагрузок для всех типов щитов освещения.

Поскольку на секциях шин 0,4 кВ значения коэффициента реактивной мощности превышают нормируемые (не более 0,35), то с целью снижения реактивной мощности выполнен расчет мощности УКРМ и выбраны следующие конденсаторные установки: УКРМ-0,4-100 УЗ 100 кВАр для СШ1 и УКРМ-0,4-150 УЗ 150 кВАр для СШ2.

К установке на ТП-1 выбраны два силовых трансформатора, обеспечивающих питание электроприемников торгового комплекса по второй категории надежности марки ТСЛ 2000/6/0,4. Для обеспечения резервного

питания панели ПЭСПЗ в качестве дизель-генераторной установки выбрана дизельная электростанция в контейнере ТСС АД-500С-Т400-1РМ16 мощностью 500 кВт.

Произведен выбор щитового и защитного оборудования для распределительной сети 0,4 кВ; для РУ 0,4 кВ и РУ 6 кВ. Распределительные панели ЩО70 0,4кВ комплектуются автоматическими выключателями ВА88 и выключателями-разъединителями ВР32И производства ИЕК. Для защиты линий распределительных щитов силовой и осветительной нагрузки подобраны автоматические выключатели ВА88-35 ЗР 250 А и ВА88-32 ЗР 100 А, а также выключатели-разъединители ВР32И-37В71250 400А.

В помещении с распределительным устройством РУ-6кВ на ТП-1 установлено КРУ серии КСО 366 в комплектации с выключателями нагрузки ВН-10-630/20 УЗ; вакуумными выключателями ВВ/TEL-10-12,5/630-У2-46; трансформаторами тока ТОЛ-НТЗ-10-11 600/5А; а также устройствами релейной защиты и счетчиком электроэнергии. Для щитового и защитного оборудования также выполнены проверки на устойчивость к токам КЗ, рассчитанными на стороне 6 и 0,4 кВ.

Для распределительной сети 0,4 кВ выбран пятипроводный кабель ППГнг(А)-НF (групповая прокладка) и ППГнг(А)-FRNF (электроприемники системы аварийного электроснабжения и аварийного освещения). Кабельные линии от РП до СШ выполняются четырехпроводным одножильным кабелем ППГнг(А)-НF, а резервное питание от ПЭСПЗ до ДГУ – ППГнг(А)-FRNF. Сечения данных кабелей выбраны по расчетному току и проверены по длительно-допустимому току и по потерям напряжения в конце линии. В заключительном разделе описана система заземления и молниезащиты, а также выполнен расчет для заземляющего устройства.

Все задачи, поставленные в ходе разработки проекта (проектирования) системы электроснабжения торгового развлекательного комплекса г. Зеленогорск выполнены, цель ВКР достигнута.

Список используемых источников

1. Вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-12,5/630-У2-46 [Электронный ресурс] : Компания «Таврида-Электрик». URL: <https://www.tavrida.com/upload/iblock/117/1175b4c83c099ae3e31183cd8622e164.pdf> (дата обращения: 14.12.2022).
2. ГОСТ 31565-2012 Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности: Москва, Стандартинформ, 2014. 7 с.
3. ГОСТ 31996-2012 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ: Москва, Стандартинформ, 2013. 34 с.
4. ГОСТ Р 50571.5.52-2011 Электроустановки низковольтные. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки. М.: Стандартинформ, 2019. 71 с.
5. ГОСТ Р ЕН 12464-1:2011 «Свет и освещение. Освещение рабочих мест. Часть 1. Рабочие места в помещениях». : Москва, Стандартинформ, 2011. 66 с.
6. Каталог оборудования ИЕК [Электронный ресурс] // Официальный сайт ИЕК в России. URL: <https://ru-iek.com/katalog/> (дата обращения: 29.11.2022).
7. Каталог продукции. Светодиодные светильники IntiLED. [Электронный ресурс] // ООО «Интилед». URL: https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2020/06/22/IntiLED_2019_ru.pdf (дата обращения: 16.10.2022).
8. Каталог. Светодиодные светильники. Компания Световые Технологии. [Электронный ресурс] // ООО «МГК «Световые Технологии». URL: <https://www.ltcompany.com/ru/products/types/> (дата обращения: 14.10.2022).
9. Каталог светильников. Волжский светотехнический завод «Луч». [Электронный ресурс] // ООО «ВСТЗ Луч». URL: <https://vstzluch.ru/catalogue> (дата обращения: 21.10.2022).

10. Каталог. Камеры сборные одностороннего обслуживания КСО 366. [Электронный ресурс] // АО «СЭТЗ». URL: <https://setzenergo.ru/prod/kameru-sbornue-odnostor-obslu/> (дата обращения: 09.12.2022).
11. Каталог. Распределительные щиты ЩО-70-1-84. [Электронный ресурс] // ООО «Евраз Автоматика». URL: <https://evraz.pro/catalog/nku/shchity-peremennogo-toka/shcho-70-shcho-91/shcho-70-1-84/> (дата обращения: 25.11.2022).
12. Микропроцессорные блоки релейной защиты и автоматики БЭМП РУ-ТТ2. [Электронный ресурс] : АО «ЧЭАЗ». URL: https://www.cheaz.ru/assets/images/production/5-urz/1-m-rza/2-bemp-ru/bemp-ru-tt2_izml.pdf (дата обращения: 14.12.2022).
13. Освещение магазина – нормы, типы, правила проектирования. [Электронный ресурс] URL: <https://interalighting.ru/blog/torgovoye-osveshcheniye#2> (дата обращения: 29.10.2022).
14. Правила устройства электроустановок. 7-е изд.: Москва, Стандартинформ, 2020. 330 с.
15. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей : Минтопэнерго РФ, 2019. 31 с.
16. СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» : утв. постановлением N 62296 от 29.01.2021 // Консультант плюс: справочно-правовая система.
17. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. : Москва, Стандартинформ, 2016. 84 с.
18. СП 439.1325800.2018 «Здания и сооружения. Правила проектирования аварийного освещения» М.: Стандартинформ, 2019. 63 с.
19. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». : М.: Стандартинформ, 2016. 121 с.

20. Трансформатор сухой трехфазный ТСЛ-2000/6/0,4 [Электронный ресурс] : ООО «Новые технологии». URL: <https://powertrans.nt.ru/price/product/81103> (дата обращения: 22.11.2022).
21. Трансформатор тока ТОЛ-НТЗ-10-11 [Электронный ресурс] : НТЗ «Волхов». URL: <https://www.ntzv.ru/tol-ntz-10-11> (дата обращения: 15.12.2022).
22. ТСС АД-500С-Т400-1РМ16 – Дизельная электростанция (ДЭС) [Электронный ресурс] : ООО Завод «Генмоторс». URL: <https://tolyatti.dizelnye-generatory.com/dizelnye-generatory/tss-ad-500s-t400-1rm16/> (дата обращения: 23.11.2022).
23. Шеховцев В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 214 с.
24. Chenyi L., Lei X., Shuilian H. Research of Comprehensive Application of Intelligent Low-Voltage Power Distribution Units in Improving Power Quality [Электронный ресурс] : CICED, Tianjin, China, 2018, pp. 551-554. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8592208/references#references> (дата обращения: 13.11.2022).
25. EEP (Electrical Engineering Portal): Five switching devices you are likely to spot in most of the low voltage switchgears, 2020. [Электронный ресурс] URL: <https://electrical-engineering-portal.com/circuit-breakers-classified-by-interrupting-medium> (дата обращения: 06.12.2022).
26. Kiryukhina S.V., Podsevatkin V.G., Zheleznikova O.E., Kiryukhin F.M. Complex psychophysiological assessment of led lighting. // FUNDAMENTAL RESEARCH № 8, 2015. pp. 491–495.
27. Rafael A. Pinto; Joao. G. Roncalio; Ricardo N. do Prado. Street lighting system using light emitting diode (LEDs) supplied by the mains and by batteries [Электронный ресурс] : International Conference on New Concepts in Smart Cities. Gijon, Spain, 2013, pp. 982-988. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6708204> (дата обращения: 10.11.2022).

28. Scheffler J. Operation of low voltage distribution networks with decentralised combined heat and power fuel cell systems for residential application Transmission and Distribution Conference and Exposition. [Электронный ресурс] : Developing New Perspectives. Atlanta, GA, USA, pp. 759-763 vol.2. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/971333> (дата обращения: 16.11.2022).