

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение дошкольного образовательного учреждения на 140 мест на территории жилого комплекса "Ривьера"

Обучающийся

А.А. Дудникова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Ю.В. Черненко

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

Тольятти 2025

Аннотация

Темой ВКР является «Электроснабжение дошкольного образовательного учреждения на 140 мест на территории жилого комплекса "Ривьера"».

В ВКР рассчитаны электрические нагрузки:

- технологического оборудования столовой, прачечной, медкабинета;
- розеточной сети исходя из нагрузок предполагаемых электроприемников;
- осветительной (рабочее и аварийное освещение);
- оборудования обеспечения бесперебойной работы (в том числе инженерных сетей), систем пожаротушения и охраны.

Расчетные нагрузки помогли определить подходящие силовые трансформаторы. После их выбора были рассчитаны токи короткого замыкания (КЗ).

На основании результатов расчетов токов КЗ, а также термической и электродинамической стойкости, было выбрано электрооборудование для ТП. Затем были рассчитаны токи для выбора кабельных линий.

На последнем этапе рассчитано заземление и молниезащита дошкольного образовательного учреждения.

Содержание

Введение.....	4
1 Описание микрорайона.....	6
2 Расчет электрических нагрузок и выбор числа и мощности трансформаторов	7
2.1 Расчет электрических нагрузок	7
2.2 Расчет освещения	13
2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов	23
3 Расчет токов КЗ	25
4 Выбор оборудования.....	31
4.1 Проверочный расчет силовых выключателей, разъединителей и трансформаторов тока	31
4.2 Выбор кабелей	32
4.3 Проверка выбора уставок	36
5 Расчет заземления и молниезащиты.....	37
Заключение	41
Список используемых источников	42

Введение

После периода снижения рождаемости в 1990-е годы, в России наблюдается рост рождаемости в 2000-е и 2010-е годы, что увеличило потребность в строительстве дошкольных образовательных учреждений. В связи с этим, государству требуется обеспечить доступность дошкольного образования для всех детей.

Также, строительство новых жилых микрорайонов, в частности таких как комплекс «Ривьера», часто сопровождается строительством объектов социальной инфраструктуры, включая детские сады. Это связано с реализацией государственных и региональных программ, направленных на поддержку строительства, а также реконструкции объектов дошкольного образования.

Исходя из вышесказанного, актуальность проектирования электроснабжения ДОО обусловлена необходимостью обеспечения безопасности детей, создания комфортной образовательной среды, энергоэффективности и соблюдения нормативных требований. Инвестиции в качественное проектирование и монтаж электроустановок – это вклад в здоровье и безопасность подрастающего поколения.

Целью ВКР является получение надежной и эффективной схемы электроснабжения дошкольного образовательного учреждения.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить задачи такие как:

- определить суммарную электрическую нагрузку дошкольного образовательного учреждения, учитывая технологическое оборудование кухни (плиты, духовые шкафы, холодильники, посудомоечные машины), системы отопления, вентиляции и кондиционирования, освещение (общее, аварийное, эвакуационное), электрооборудование прачечной, медицинского кабинета, а также розеточную сеть для питания бытовых приборов и оборудования;

- по проведенному расчету электрических нагрузок необходимо подобрать соответствующие силовые трансформаторы для обеспечения надежного и экономичного электроснабжения ДОО с учетом коэффициента запаса и перспективы развития;
- выполнить расчет токов КЗ в различных точках электрической сети дошкольного образовательного учреждения;
- получив результаты расчетов токов КЗ, «рассчитать термическую и электродинамическую стойкость;
- выбрать электрооборудование, необходимого для электроснабжения дошкольного образовательного учреждения;
- выбрать кабельные линии (КЛ);
- разработать систему заземления и молниезащиты, соответствующую требованиям нормативных документов» [1].

1 Описание микрорайона

На территории строящегося комплекса, помимо жилых зданий, проектом предусмотрены следующие здания и сооружения:

- детский сад на 140 мест – учреждение с просторными группами, игровыми и спальными комнатами, музыкальным и спортивным залами, медицинским кабинетом, пищеблоком, территорией проведения спортивно-развлекательных мероприятий;
- общеобразовательная школа с современным оборудованием, спортивным залом, типовым стадионом для проведения занятий по футболу и территорией для уроков по физической культуре и спорту;
- открытые парковки для обеспечения достаточного количества парковочных мест для жителей и гостей комплекса. Часть паркингов будет выполнено подземной стоянкой для уменьшения занимаемой площади;
- магазины шаговой доступности, супермаркет, аптека, салон красоты, химчистка, ремонт обуви;
- офис управляющей компании для решения вопросов эксплуатации и обслуживания жилого комплекса.

Для данного микрорайона в ВКР будет рассмотрен вопрос электроснабжения дошкольного образовательного учреждения (детского сада) на 140 мест.

Вывод по разделу.

Обеспечение надежного и эффективного электроснабжения имеет ключевое значение для обеспечения комфортного пребывания детей, функционирования всех образовательных и вспомогательных помещений, таких как игровые и спальные комнаты, медицинский кабинет и пищеблок. Важно также учесть потребности в электроэнергии для современного оборудования и систем безопасности.

2 Расчет электрических нагрузок и выбор числа и мощности трансформаторов

2.1 Расчет электрических нагрузок

Области потребления электроэнергии дошкольного образовательного учреждения:

- технологическое оборудование кухни (плиты, духовые шкафы, холодильники, посудомоечные машины);
- «системы отопления, вентиляции и кондиционирования;
- розеточная сеть;
- осветительная сеть (рабочее и аварийное освещение);
- инженерные системы и сети, автоматика, пожарная и охранная сигнализации» [1].

«Расчетная активная мощность группы электроприемников (ГЭ) дошкольного образовательного учреждения:

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

где K_c – коэффициент спроса;

$P_{уст}$ – установленная мощность группы электроприемников, кВт» [20].

«Расчетная реактивная мощность ГЭ дошкольного образовательного учреждения:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности ГЭ» [20].

«Полная мощность ГЭ дошкольного образовательного учреждения:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (3)$$

Максимальный расчетный ток ГЭ дошкольного образовательного учреждения:

$$I_p = \frac{S_p}{U \cdot \sqrt{3}} \quad (4)$$

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

Для местных и центральных тепловых пунктов, насосных, котельных и других потребителей, предназначенных для обслуживания жилых и общественных зданий, расположенных в микрорайонах (школы, детские ясли-сады, предприятия торговли и общественного питания и другие потребители), компенсация реактивной нагрузки, как правило, не требуется, если в нормальном режиме работы расчетная мощность компенсирующего устройства на каждом рабочем вводе не превышает 50 квар. Это соответствует суммарной расчетной нагрузке указанных потребителей 250 кВт» [20].

Поэтому для учреждения компенсация реактивной мощности не предусмотрена, так как суммарная нагрузка составляет 111,93 кВА.

Таблица 1 – Расчет нагрузок дошкольного образовательного учреждения

Электро приемни ки	Исходные данные				K _с	Расчетная мощность			I _р , А
	Наименование	P _у , кВт	cosφ	tgφ		P _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА	
1 секция ГРЩ									
ЩС-1									
11	Картофельная чистка	0,555	0,921	0,423	0,651	0,361	0,153	0,392	—
12	Электрическая мясорубка	1,505	0,921	0,423	0,651	0,980	0,414	1,064	—
13	Протирочная машина	0,755	0,921	0,423	0,651	0,492	0,208	0,534	—
14	Жарочный шкаф	9,605	0,921	0,423	0,651	6,253	2,645	6,789	—
15	Плита электрическая	22,605	0,921	0,423	0,651	14,716	6,224	15,978	—
16	Плита индукционная	15,005	0,921	0,423	0,651	9,768	4,132	10,606	—
17	Котел пищеварки	13,505	0,921	0,423	0,651	8,792	3,719	9,546	—
18	Электрическая мясорубка	1,505	0,921	0,423	0,651	0,980	0,414	1,064	—
19	Лифт грузовой	2,005	0,921	0,423	1,001	2,007	0,849	2,179	—
110	Розеточная сеть	1,405	0,981	0,198	0,401	0,563	0,111	0,574	—
111	Водонагреватель	2,005	0,921	0,423	0,401	0,804	0,340	0,873	—
Итого по ЩС-1:		70,455	0,931	0,392	0,649	45,715	19,210	49,587	75,340
Наружное освещение (ЩНО)		3,001	0,921	0,423	1	3,001	1,269	3,258	4,951
Итого по 1 секции ГРЩ		73,456	0,92	0,426	0,663	48,716	20,479	52,846	80,291

Продолжение таблицы 1

Электро приемни ки	Исходные данные				K_c	Расчетная мощность			I_p , А
	Наименование	P_y , кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$		P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	
2 секция ГРЩ									
ЩО-1									
21	Освещение рабочее	2,597	0,921	0,423	0,901	2,340	0,990	2,541	—
22	Методические светильники	0,365	1,000	0,000	0,901	0,329	0,000	0,329	—
23	Розеточная сеть	1,705	0,981	0,198	0,401	0,684	0,135	0,697	—
24	Водонагреватель	2,005	0,921	0,423	0,401	0,804	0,340	0,873	—
Итого по ЩО-1:		6,672	0,943	0,352	0,623	4,156	1,465	4,407	6,696
ЩО-2									
25	Освещение рабочее	2,399	0,921	0,423	0,901	2,161	0,914	2,347	—
26	Методические светильники	0,185	1,000	0,000	0,901	0,167	0,000	0,167	—
27	Розеточная сеть	4,005	0,981	0,198	0,401	1,606	0,318	1,637	—
28	Водонагреватель	2,005	0,921	0,423	0,401	0,804	0,340	0,873	—
Итого по ЩО-2:		8,594	0,949	0,332	0,551	4,738	1,572	4,992	7,585

Продолжение таблицы 1

Электро приемни ки	Исходные данные				K _с	Расчетная мощность			I _р , А
	Наименование	P _у , кВт	cosφ	tgφ		P _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА	
ЩО-3									
29	Освещение рабочее	2,579	0,921	0,423	0,901	2,324	0,983	2,523	—
210	Методические светильники	0,485	1,000	0,000	0,901	0,437	0,000	0,437	—
211	Розеточная сеть	2,705	0,981	0,198	0,401	1,085	0,215	1,106	—
212	Водонагреватель	2,005	0,921	0,423	0,401	0,804	0,340	0,873	—
Итого по ЩО-3:		7,774	0,949	0,331	0,598	4,649	1,537	4,897	7,440
ЩО-4									
213	Освещение рабочее	2,993	0,921	0,423	0,901	2,697	1,141	2,928	—
214	Розеточная сеть	1,605	0,981	0,198	0,401	0,644	0,127	0,656	—
215	Водонагреватель	4,005	0,921	0,423	0,401	1,606	0,679	1,744	—
Итого по ЩО-4:		8,603	0,941	0,360	0,575	4,946	1,947	5,316	8,077
Итого по ЩСУ:		31,643	0,943	0,353	0,584	18,490	6,522	19,607	29,789

Продолжение таблицы 1

Электро приемни ки	Исходные данные				K _с	Расчетная мощность			I _р , А
	Наименование	P _у , кВт	cosφ	tgφ		P _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА	
ЩС-2									
216	Экстрактор	17,181	0,901	0,481	0,901	15,480	7,453	17,181	—
217	Стиральная машина	16,705	0,901	0,481	0,901	15,051	7,247	16,705	—
218	Розеточная сеть	4,655	0,981	0,198	0,401	1,867	0,369	1,903	—
Итого по ЩС-2:		38,541	0,931	0,392	0,841	32,398	15,070	35,731	54,288
Итого по 2 секции ГРЩ		70,184	0,921	0,424	0,725	50,888	21,591	55,279	83,988
АВР									
31	Аварийное освещение	1,801	0,921	0,423	1,000	1,801	0,762	1,955	—
32	АОПС	1,001	0,921	0,423	1,000	1,001	0,423	1,087	—
33	Видеонаблюдение	0,501	0,921	0,423	1,000	0,501	0,212	0,544	—
34	Электрическая задвижка	0,201	0,921	0,423	1,000	0,201	0,085	0,218	—
Итого по АВР:		3,504	0,921	0,423	1,000	3,504	1,482	3,805	5,780
Итого по ГРЩ:		147,144	0,921	0,422	0,701	103,109	43,552	111,930	170,059

Электроприемники согласно ПУЭ-7 дошкольного образовательного учреждения преимущественно первой и второй категорий, поэтому требуется установка АВР.

«Принимается категория надежности электроснабжения – вторая. Наиболее ответственные электроприемники – щит теплового узла, аварийное освещение, охранная и пожарная сигнализация – необходимо запитать через устройство АВР (первой категории). Остальные электроприемники отнесены к электроприемникам второй категории» [14].

«При наличии лифтового оборудования, а также подъемных платформ для инвалидов и маломобильных групп населения, в здании ДОО должен быть предусмотрен диспетчерский контроль параметров их работы с выводом сигналов в помещение ДОО» [18].

«В помещениях зрелищной группы в ДОО независимо от числа источников электропитания необходимо предусматривать установку аккумуляторных батарей для обеспечения бесперебойности питания в аварийных режимах освещения, эвакуационного освещения и пожарной сигнализации» [18].

2.2 Расчет освещения

Для внутреннего освещения рассмотрим отечественные светильники типа «CSVТ» [12].

«Внутреннее эвакуационное освещение работает с использованием АВР» [21].

«В помещениях, где необходим обзор окружающего пространства (например, концертные, зрительные залы, фойе театров, рекреации), а также в помещениях, к которым предъявляют специальные архитектурно-художественные требования (например, торговые залы магазинов, выставочные залы), нормируют цилиндрическую освещенность» [9].

«Прямой естественный свет должны быть обеспечены все помещения ДОО с длительным нахождением людей, в т.ч. коридоры с холлами (местами отдыха)» [18].

«Верхним (верхне-наклонным) естественным светом допускается освещать: раздевалки и санузлы дошкольных групп, комнаты психологической разгрузки детей («домашний уголок») и взрослых, комнаты персонала, залы для музыкальных и физкультурных занятий, зал с ванной бассейна, зал разминки при бассейне, помещения кружков и секций, коммуникационно-рекреационное пространство» [18].

«Светильники наружного освещения территорий ДОО допускается подключать к источникам электроснабжения как от вводных устройств зданий ДОО или трансформаторных подстанций, так и от ближайших распределительных сетей наружного освещения. Возможно подключение охранного освещения по самостоятельным линиям. При этом должно соблюдаться условие управления освещением от системы управления освещением населённого пункта, в котором располагается ДОО, при обеспечении возможности управления освещением из здания ДОО» [18].

«Во всех помещениях ДОО необходимо предусматривать искусственное освещение: в групповых и зальных помещениях – общее равномерное, локализованное и комбинированное; в спальнях помещениях и верандах – общее равномерное и дежурное (ночное); во вспомогательных помещениях – аварийное эвакуационное и резервное; охранный и дежурный» [18].

«Нормативная освещенность $E_{\text{норм}}$ представлена СП52.13330.2016. Монтаж выключателей и розеток предусматривается в помещениях на отметке 1,8 м от уровня пола для безопасности детей» [1].

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

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

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

S – площадь освещаемого помещения, м^2 ;

h – высота установки светильника от уровня земли, м » [21].

«Расстояние от пола до потолка примем 2,9 м.

Коэффициенты отражения помещений дошкольного образовательного учреждения установим 70/50/30 (потолок/стены/пол).

Коэффициенты неравномерности помещений для всех помещений $t = 1,1$. Коэффициенты запаса для помещений дошкольного образовательного учреждения $K_z = 1$ » [9].

«Полученные индексы помещений i дошкольного образовательного учреждения позволяют определить коэффициент использования светового потока δ » [9]. Следует учитывать, что КСС являются косинусными для устанавливаемых светильников (рисунки 1 и 2).

«Внесем в таблицу 2 значения освещенности согласно каталогам и проведем расчет количества светильников по помещениям дошкольного образовательного учреждения» [1].

«Количество светильников на каждое помещение дошкольного образовательного учреждения (таблица 2)» [1]:

$$N_{\text{св}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_z \cdot t}{\Phi_{\text{св}} \cdot \delta} \quad (6)$$

Поскольку дошкольное образовательное учреждение включает в себя прачечную, кухню и санитарные узлы, где имеется повышенный уровень влажности, светильники принимаем класса защиты минимум IP54 [15]. По каталогу CSVT принимаем IP65. Цветовая температура – 3500К, поскольку теплый свет действует на детей успокаивающе.

Таблица 2 – Расчет освещения дошкольного образовательного учреждения

Номер	Наименование помещения	S	a	b	E_n	i	δ	$\Phi_{св}$	$N_{св}$	Светильник	$P_{св}$	P_o
		м ²	м	м	Лк	—	—	Лм	шт		Вт	Вт
Подвал												
001	Подвальные помещения	30,59	4,61	6,64	20	0,94	51	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
002	Подвальные помещения	40,43	5,30	7,63	20	1,08	55	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
003	Подвальные помещения	72,04	7,07	10,19	20	1,44	63	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
004	Подвальные помещения	47	5,71	8,23	20	1,16	57	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
005	Подвальные помещения	72,56	7,10	10,22	20	1,44	63	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
006	Подвальные помещения	71,81	7,06	10,17	20	1,44	63	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
007	Подвальные помещения	5,04	1,87	2,69	20	0,38	25	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
008	Подвальные помещения	42,89	5,46	7,86	20	1,11	55	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
009	Водомерный узел	15,3	3,26	4,69	100	0,66	41	3250	2	CSVТ AVRORA	31	62

Продолжение таблицы 2

Номер	Наименование помещения	S	a	b	$E_{\text{н}}$	i	δ	$\Phi_{\text{св}}$	$N_{\text{св}}$	Светильник	$P_{\text{св}}$	$P_{\text{о}}$
		м ²	м	м	Лк	–	–	Лм	шт		Вт	Вт
Подвал												
010	Подвальные помещения	53,98	6,12	8,82	20	1,25	59	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
011	Подвальные помещения	21,89	3,90	5,61	20	0,79	46	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
012	Подвальные помещения	40,85	5,33	7,67	20	1,08	55	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
013	Подвальные помещения	98,8	8,28	11,93	20	1,69	67	2600	2	CSVТ CLIO	25	50
014	Элеваторный узел	42,54	5,44	7,83	100	1,11	55	3250	3	CSVТ AVRORA	31	93
Первый этаж												
101	Тамбур	2,57	1,34	1,92	200	0,27	38	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
102	Гладильная	12,83	2,98	4,30	200	0,61	39	3250	3	CSVТ AVRORA	31	93
103	Прачечная	15,54	3,29	4,73	200	0,67	40	3250	3	CSVТ AVRORA	31	93
104	Кухня	28,34	4,44	6,39	200	0,90	41	3250	5	CSVТ AVRORA	31	155
105	Тамбур	3,39	1,53	2,21	200	0,31	42	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
106	Моечная	3,5	1,56	2,24	200	0,32	43	2600	1	CSVТ CLIO	25	25

Продолжение таблицы 2

Номер	Наименование помещения	S	a	b	$E_{\text{н}}$	i	δ	$\Phi_{\text{св}}$	$N_{\text{св}}$	Светильник	$P_{\text{св}}$	$P_{\text{о}}$
		м ²	м	м	Лк	—	—	Лм	шт		Вт	Вт
Первый этаж												
107	Санузел персонала	2,12	1,21	1,75	200	0,25	44	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
108	Умывальная	1,96	1,17	1,68	200	0,24	45	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
109	Холодный цех	4,95	1,85	2,67	200	0,38	46	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
110	Продуктовая кладовая	8,54	2,44	3,51	200	0,50	47	2600	2	CSVТ CLIO	25	50
111	Коридор	7,77	2,32	3,34	200	0,47	48	2600	2	CSVТ CLIO	25	50
112	Тамбур	1,77	1,11	1,60	200	0,23	49	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
113	Санузел персонала	1,81	1,12	1,61	200	0,23	50	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
114	Умывальная	1,98	1,17	1,69	200	0,24	51	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
115	Раздевалка сотрудников	0,63	0,66	0,95	200	0,13	52	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
116	Изолятор	6,95	2,20	3,16	200	0,45	53	3250	1	CSVТ AVRORA	31	31
117	Кабинет врача	6,09	2,06	2,96	200	0,42	54	3250	1	CSVТ AVRORA	31	31
118	Коридор	7,45	2,27	3,28	200	0,46	55	3250	1	CSVТ AVRORA	31	31
119	Процедурный кабинет	7,57	2,29	3,30	200	0,47	56	3250	1	CSVТ AVRORA	31	31

Продолжение таблицы 2

Номер	Наименование помещения	S	a	b	$E_{\text{н}}$	i	δ	$\Phi_{\text{св}}$	$N_{\text{св}}$	Светильник	$P_{\text{св}}$	P_{o}
		м ²	м	м	Лк	–	–	Лм	шт		Вт	Вт
Первый этаж												
120	Коридор	1,92	1,15	1,66	200	0,23	57	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
121	Душевая	3,02	1,45	2,09	200	0,30	58	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
122	Санузел персонала	1,89	1,15	1,65	200	0,23	59	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
123	Лестница	17,35	3,47	5,00	200	0,71	60	3250	2	CSVТ AVRORA	31	62
124	Тамбур	1,54	1,03	1,49	200	0,21	61	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
125	Тамбур	1,41	0,99	1,42	200	0,20	62	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
126	Коридор	2,43	1,30	1,87	200	0,26	63	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
127	Коридор	8,33	2,41	3,46	200	0,49	64	3250	1	CSVТ AVRORA	31	31
128	Методический кабинет	10,77	2,73	3,94	200	0,56	65	3250	2	CSVТ AVRORA	31	62
129	Коридор	3,32	1,52	2,19	200	0,31	66	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
130	Тамбур	2,45	1,30	1,88	200	0,27	67	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
131	Кладовая	2,25	1,25	1,80	200	0,25	68	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
132	Тренерская	3,06	1,46	2,10	200	0,30	69	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
133	Методический кабинет	16,83	3,42	4,92	200	0,70	70	3250	2	CSVТ AVRORA	31	62
134	Физкультурный зал	48,28	5,79	8,34	200	1,18	71	3250	5	CSVТ AVRORA	31	155

Продолжение таблицы 2

Номер	Наименование помещения	S	a	b	E_n	i	δ	$\Phi_{св}$	$N_{св}$	Светильник	$P_{св}$	P_o
		м ²	м	м	Лк	–	–	Лм	шт		Вт	Вт
Первый этаж												
135	Методический кабинет	36,55	5,04	7,25	200	1,03	72	3250	4	CSVТ AVRORA	31	124
136	Коридор	45,78	5,64	8,12	200	1,15	73	3250	5	CSVТ AVRORA	31	155
137	Раздевальная	17,19	3,46	4,98	200	0,70	74	3250	2	CSVТ AVRORA	31	62
138	Групповая	44,96	5,59	8,05	200	1,14	75	3250	5	CSVТ AVRORA	31	155
139	Буфетная	2,62	1,35	1,94	200	0,27	76	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
140	Моечная	5,41	1,94	2,79	200	0,39	77	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
141	Умывальная	11,8	2,86	4,12	200	0,58	78	2600	2	CSVТ CLIO	25	50
142	Санузел	2,8	1,39	2,01	200	0,28	79	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
143	Санузел персонала	1,72	1,09	1,57	200	0,22	80	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
144	Умывальная	1,64	1,07	1,54	200	0,22	81	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
145	Спальня	50,43	5,92	8,52	200	1,20	82	3250	5	CSVТ AVRORA	31	155
146	Тамбур	4,04	1,67	2,41	200	0,34	83	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
147	Электрощитовая	4,8	1,83	2,63	200	0,37	84	2600	1	CSVТ CLIO	25	25
148	Кладовая	7,2	2,24	3,22	200	0,46	85	2600	1	CSVТ CLIO	25	25

Продолжение таблицы 2

Номер	Наименование помещения	S	a	b	$E_{\text{н}}$	i	δ	$\Phi_{\text{св}}$	$N_{\text{св}}$	Светильник	$P_{\text{св}}$	P_{o}
		м ²	м	м	Лк	—	—	Лм	шт		Вт	Вт
Первый этаж												
149	Спальня	35,35	4,95	7,13	200	1,01	86	3250	3	CSVT AVRORA	31	93
150	Групповая	49,14	5,84	8,41	200	1,19	87	3250	4	CSVT AVRORA	31	124
151	Туалетная	16,06	3,34	4,81	200	0,68	88	3250	2	CSVT AVRORA	31	62
152	Буфетная	2,97	1,44	2,07	200	0,29	89	2600	1	CSVT CLIO	25	25
153	Тамбур	2,63	1,35	1,95	200	0,28	90	2600	1	CSVT CLIO	25	25
154	Коридор	2,24	1,25	1,80	200	0,25	91	2600	1	CSVT CLIO	25	25
155	Коридор	2,85	1,41	2,03	200	0,29	92	2600	1	CSVT CLIO	25	25
156	Раздевальная	17,22	3,46	4,98	200	0,70	93	3250	2	CSVT AVRORA	31	62
157	Тамбур	2,25	1,25	1,80	200	0,25	94	2600	1	CSVT CLIO	25	25
158	Коридор	2,85	1,41	2,03	200	0,29	95	3250	1	CSVT AVRORA	31	31
159	Коридор	3,79	1,62	2,34	200	0,33	96	2600	1	CSVT CLIO	25	25
160	Лестница	17,35	3,47	5,00	200	0,71	97	3250	2	CSVT AVRORA	31	62
161	Тамбур	1,41	0,99	1,42	200	0,20	98	2600	1	CSVT CLIO	25	25

Косинусные КСС CSVТ AVRORA и CSVТ CLIO представим на рисунках 1 и 2 соответственно.

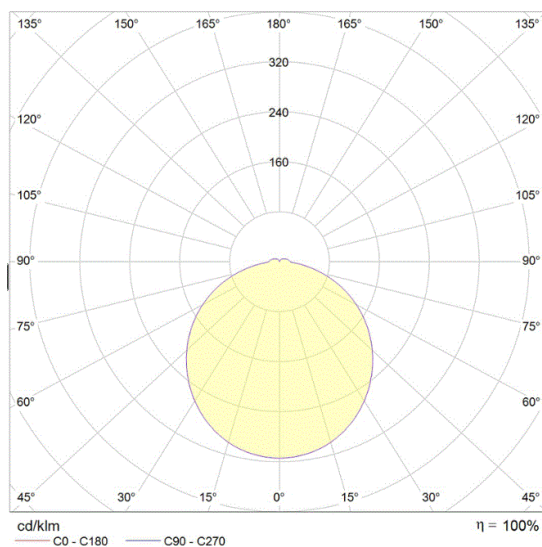


Рисунок 1 – КСС светильника CSVТ AVRORA

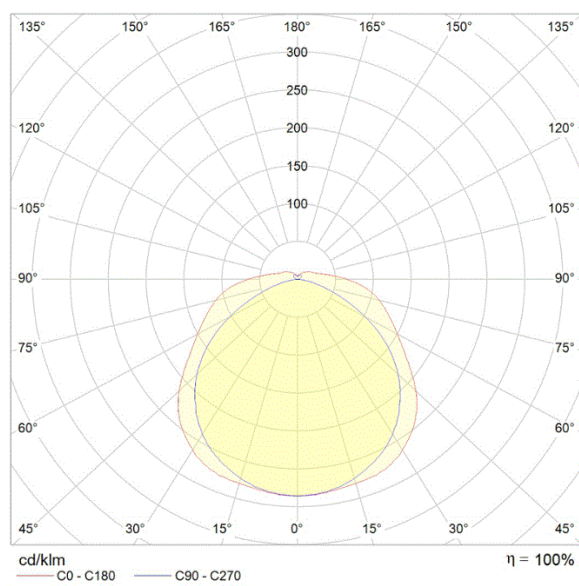


Рисунок 2 – КСС светильника CSVТ CLIO

«Внутреннее освещение дошкольного образовательного учреждения составляет нагрузку 12,348 кВт. Данная нагрузка включает в себя рабочее и аварийное освещение.

Светильники разместим по детскому саду равномерно. Светильники CSVТ работают при повышенной влажности» [4].

«Светильник типа CSVТ CLIO будет использован в помещениях малой площади, а CSVТ AVRORA – в больших» [4].

2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов

«В дошкольном образовательном учреждении используются электроприемники различных категорий надежности электроснабжения» [17]-[19]. Ранее принято, что учреждение имеет вторую категорию надежности электроснабжения.

Дошкольное учреждение получает электроэнергию от внешней сети 6 кВ. Система заземления учреждения – типа TN-C-S.

Поэтому ориентируясь на ранее сказанное для электроснабжения дошкольного образовательного учреждения необходимо использовать два трансформатора.

Проведем расчет мощности трансформаторов для дошкольного образовательного учреждения.

Полная мощность трансформатора:

$$S_{p.т} = \frac{S_{p.Σ}}{K_{з.тр} \cdot N_{Тр}} \quad (7)$$
$$S_{p.т} = \frac{111,93}{0,7 \cdot 2} = 79,95 \text{ кВА}$$

Принимаем трансформаторы ТМГ-100/6/0,4. Коэффициент загрузки на трансформатор составляет 0,56. В случае проведения технико-экономического расчета с трансформаторами на ступень большей мощности (ТМГ-160/6/0,4), коэффициент загрузки будет менее 0,5, что является нерациональным с точки зрения энергоэффективности. Поэтому установка последних не окупится.

Вывод по разделу.

При расчете электрических нагрузок полная мощность составляет 111,93 кВА. Компенсация реактивной мощности не предусмотрена.

Категория надежности принята второй. Тем не менее, в учреждении содержатся электроприемники первой категории (автоматическая охранно-пожарная сигнализация, видеонаблюдение, аварийное освещение, электроздвижка противопожарной системы), электроснабжение необходимо осуществить от устройства АВР [18].

Расчет освещения помещений дошкольного образовательного учреждения проведен по методу коэффициента использования светового потока. Рассчитанные мощности светодиодных светильников типа CSVT распределены по щитам.

План установки светодиодных светильников в помещениях дошкольного образовательного учреждения представлен на чертежах.

Исходя из рассчитанных электрических нагрузок и напряжения питающей сети выбраны силовые трансформаторы типа ТМГ-100/6/0,4 для питания дошкольного образовательного учреждения. Коэффициент загрузки составил 0,56.

Теперь проведем расчет токов короткого замыкания (КЗ).

3 Расчет токов КЗ

«Расчет токов КЗ необходимо проводить с использованием нормативных документов. Рекомендуется рассчитывать в относительных единицах (о.е.). Схемы расчетная и замещения отражены на рисунке 3 слева и справа соответственно.

Мощность трехфазного короткого замыкания сети с $S_c=500$ МВА, $U_6=6,3$ кВ, $S_6=1000$ МВА» [8].

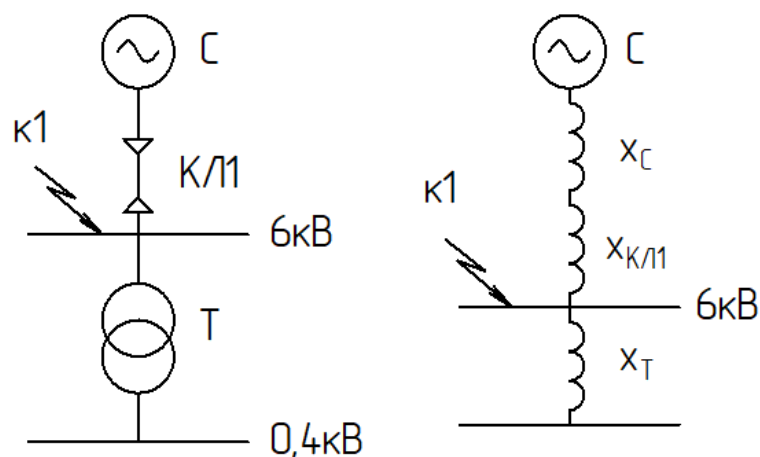


Рисунок 3 – Схемы расчетная и замещения

Ток от системы до ТП киоскового типа:

$$I_{c-t} = \frac{S_{н.т}}{\sqrt{3} \cdot U'} \quad (8)$$
$$I_{c-t} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,16 \text{ A.}$$

«Для электроснабжения учреждения проложим в траншее кабельную линию с поясной бумажной изоляцией (пропитанная вязким изоляционным составом) и алюминиевыми жилами» [11].

«Число часов использования максимума нагрузки в год составляет от 3000 до 5000. Сечение по экономической плотности тока $J_{\text{ЭК}}=1,1 \text{ А/мм}^2$ » [14]:

$$S_{\text{с-т}} = \frac{I_{\text{с-т}}}{J_{\text{ЭК}}}, \quad (9)$$

$$S_{\text{с-т}} = \frac{9,16}{1,1} = 8,33 \text{ мм}^2.$$

«Для кабеля ААБл 3×10^{-6} допустимый ток составляет 55 А по каталогу, поэтому принимаем именно его» [10].

«Активное сопротивление кабеля $r_{\text{уд-1}}=3,1 \text{ Ом/км}$ и индуктивное сопротивление кабеля $x_{\text{уд-1}}=0,32 \text{ Ом/км}$ » [10]. Длина КЛ от точки подключения до ТП составляет $l_{\text{кл-1}}=187 \text{ м}$.

«Суммарное активное и индуктивное сопротивление до точки К-1: $x_{\text{К-1}}=579,5 \text{ мОм}$; $r_{\text{К-1}}=280,35 \text{ мОм}$ » [3].

Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей (АВ), трансформаторов тока (ТТ) занесем в таблицу 3 далее. Также данные сопротивления представим на рисунке 4.

«Пересчитанное сопротивление к ступени НН:

$$x_{\text{стНН}} = x_{\text{стВН}} \cdot \frac{U_{\text{НН}}^2}{U_{\text{ВН}}^2} \quad (10)$$

Реактивное сопротивление ТМГ-100/6/0,4» [7]:

$$x_{\text{Т}} = \sqrt{u_{\text{КЗ.Т}}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{КЗ.Т}}}{S_{\text{Н.Т}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{Н.Т}}} \cdot 10^4 \quad (11)$$

$$x_{\text{Т}} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 1,97}{100} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^4 = 64,73 \text{ мОм}$$



«Активное сопротивление ТМГ-100/6/0,4:

$$r_T = \frac{P_{K3} \cdot U_{HH}^2}{S_T^2} \cdot 10^6 \quad (12)$$

$$r_T = \frac{1,97 \cdot 0,4^2}{100^2} \cdot 10^6 = 0,32 \text{ мОм}$$

Активное и индуктивное сопротивления от системы до точки К-2:

$$r_{K-2} = r_{KL1} + r_{TP} + r_K + r_{KB} + r_{TT} \quad (13)$$

$$x_{K-2} = x_{KL1} + x_{TP} + x_{KB} + x_{TT} + x_C \quad (14)$$

Суммарное активное и индуктивное сопротивление до точки К-2: $x_{K-2} = 23,04 \text{ мОм}$, $r_{K-2} = 77,21 \text{ мОм}$ » [3].

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ без учета подпитки от электродвигателей» [3]:

$$I_{n0.K-i} = \frac{U_H}{\sqrt{3 \cdot (r_{K-i}^2 + x_{K-i}^2)}} \quad (15)$$

$$I_{n0.K-i} = \frac{0,4}{\sqrt{3 \cdot (23,04^2 + 77,21^2)}} = 2,87 \text{ кА}$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей тока КЗ» [3]:

$$\psi_i = \arctg\left(\frac{x_{K-i}}{r_{K-i}}\right) \quad (16)$$

$$\psi_i = \arctg\left(\frac{77,21}{23,04}\right) = 1,28$$

«Время от начала КЗ до появления ударного тока:

$$\chi_i = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \psi_i}{\pi} \quad (17)$$

$$\chi_i = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + 1,28}{\pi} = 9,07 \text{ мс}$$

Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ» [3]:

$$T_{n.K-i} = \frac{x_{K-i}}{r_{K-i} \cdot \omega} \quad (18)$$

$$T_{n.K-i} = \frac{77,21}{23,04 \cdot 314} = 10,67 \text{ мс}$$

«Ударный коэффициент:

$$K_{уд.K-i} = 1 + \sin \psi_i \cdot e^{\frac{-\chi_i}{T_{n.K-i}}} \quad (19)$$

$$K_{уд.K-i} = 1 + \sin(1,28) \cdot e^{\frac{-9,07}{10,67}} = 1,41$$

Ударный ток:

$$i_{уд.K-i} = \sqrt{2} \cdot I_{n0.K-i} \cdot K_{уд.K-i} \quad (20)$$

$$i_{уд.K-i} = \sqrt{2} \cdot 2,87 \cdot 1,41 = 5,72 \text{ кА}$$

Токи КЗ точек К-3 и К-4 проведем аналогично и внесем результаты в таблицу 3» [3].

Таблица 3 – Расчет трехфазных КЗ дошкольного образовательного учреждения

Точка	Элемент цепи	r_{K-i}	x_{K-i}	$I_{n0,K-i}$	ψ_i	χ_i	$T_{n,K-i}$	$K_{уд,K-i}$	$i_{уд,K-i}$
		МОм		кА	рад	10^{-3} с	мс	–	кА
К-1	Система	–	79,38	–					
	КЛ-1	579,5	59,85						
	Σ -1	579,5	139,23	10,17	–	–	–	1,4	20,14
К-2	К-1 приведенное к НН	2,34	0,56	–					
	ТМГ-100	0,32	64,73						
	КЛ-2	19,5	11,55						
	Контакты-2	0,11	–						
	АВ-2	0,66	0,18						
	ТТ-2	0,12	0,18						
	Σ -2	23,04	77,21	2,87	1,28	9,07	10,67	1,41	5,72
К-3	КЛ-3	14,3	8,47	–					
	Контакты-3	0,14	–						
	АВ-3	1,21	0,61						
	ТТ-3	0,34	0,69						
	Σ -3	39,03	86,98	2,42	1,15	8,66	7,10	1,27	4,34
К-4	КЛ-4	6,5	3,85	–					
	Контакты-4	0,12	–						
	АВ-4	1,32	0,72						
	ТТ-4	0,75	1,2						
	Σ -4	47,72	92,75	2,21	1,1	8,5	6,19	1,23	3,83

Выводы по разделу

Максимальный ударный ток, зафиксированный в сети выше 1 кВ, составил 20,14 кА, а в сети до 1 кВ – 5,72 кА.

4 Выбор оборудования

4.1 Проверочный расчет силовых выключателей, разъединителей и трансформаторов тока

«Для проверки электрооборудования ТП-100/6/0,4 киоскового типа рассчитаем термическую и электродинамическую стойкости. Используем для расчета точку К-2, так как она имеет наибольшие значения токов» [13].

Ток термической стойкости точки К-2:

$$B_{K-2} = I_{n0.K-2}^2 (T_{n.K-2} + t_{п.в}) \quad (21)$$
$$B_{K-2} = 2,87^2 \cdot (10,67 + 30) \cdot 10^{-3} = 0,34 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Время действия релейной защиты:

$$\gamma = t_{рз} + t_{сво} \quad (22)$$
$$\gamma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

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

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с» [21].

Максимальное значение апериодической составляющей тока КЗ» [21]:

$$i_{ay.K-2} = \sqrt{2} \cdot I_{n0.K-2} \cdot e^{\frac{-\gamma}{T_{n.K-2}}} \quad (23)$$
$$i_{ay.K-2} = \sqrt{2} \cdot 2,87 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{10,67}} = 2,39 \text{ кА}$$

Номинальное значение апериодической составляющей:

$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot I_{\delta} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \gamma}) \quad (24)$$
$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 37,47 \text{ кА}$$

где I_{δ} –ток отключения выключателя, кА» [21].

Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов оборудования и проверка их параметров

Расчетный параметр ступени НН	$I_{p,max}$	$I_{п.0,max}$	$i_{a\gamma,max}$	$i_{уд,max}$	$B_{к,max}$
	206,19 А	2,87 кА	2,39 кА	5,72 кА	0,34 кА ² ·с
Требуемый параметр	$I_{p,n}$	I_{δ}	$i_{ан}$	$i_{пр,с}$	$B_{к,n}$
Выключатель ВВУ-СЭЩ	1000 А	20 кА	37,47 кА	52 кА	400 кА ² ·с
Разъединитель РЛНД-СЭЩ	400 А	–	–	20 кА	400 кА ² ·с
Трансформатор тока ТШЛ-СЭЗ	250 А	–	–	20 кА	400 кА ² ·с

Силовые выключатели, разъединители и трансформаторы тока прошли требуемые проверки.

Далее выберем КЛ для дошкольного образовательного учреждения.

4.2 Выбор кабелей

«На стороне 6 кВ принимаем кабель марки ААБл 3×10-6. Кабель имеет следующую конструкцию:

- жила – алюминиевая;
- оболочка – алюминиевая;
- броня из стальных лент» [10].

«От ТП до ГЩВУ проложены от каждой секции по кабелю АПвВГ 2(3×95), которые имеют следующую конструкцию:

- А – Алюминиевая токопроводящая жила;
- Пв – Изоляция из сшитого полиэтилена;
- В – оболочка и поливинилхлоридного пластика
- Г – отсутствие защитного покрова» [11].

«Для соблюдения требований пожаробезопасности выберем кабели для прокладки в помещениях типа ВВГнг(А)-FRLS» [5].

«Выбор кабелей распределительной сети представлен на чертеже. Автоматические выключатели выбираем исходя из сечений кабелей» [1],[2]. В таблице 5 приведены результаты расчета площадей сечения кабелей.

Расчет падения напряжения от ТП до ГРЩ приведен в таблице 5 для аварийного режима (все потребители запитаны по одному вводу).

Таблица 5 – Расчет площадей сечения кабелей и потерь напряжений

Присоединение	Кабель	$L_{\text{кл}}, \text{ м}$	$P_{\text{р.кл}}, \text{ кВт}$	$U_{\text{пот}}, \%$
КК-2343–ГРЩ (Ввод 1)	АПВБГ 2(3×95)	18,01	95,921	0,401
КК-2343–ГРЩ (Ввод 2)	АПВБГ 2(3×95)	18,01	95,921	0,401
Удаленные ГЭ				
ЩС-1–г1.10	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	10,01	0,701	0,231
ЩС-1–г1.1	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	16,01	2,001	1,071
ЩС-1–г1.2	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	15,01	0,701	0,351
ЩС-2–г2.3	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	2,51	2,401	0,201
ЩС-2–г2.4	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	2,01	2,251	0,151
ЩО-1–го1.1	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	20,51	0,684	0,471
ЩО-1–го1.2	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	14,51	1,388	0,671
ЩО-1–го1.3	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	27,01	0,804	0,721
ЩО-1–го1.4	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	28,51	1,092	1,041
ЩО-1–го1.5	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	20,51	0,324	0,221
ЩО-1–го1.6	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	28,01	0,361	0,341
ЩО-1–го1.7	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	22,01	2,001	1,471
ЩО-2–го2.1	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	12,51	0,181	0,081

Продолжение таблицы 5

Присоединение	Кабель	$L_{\text{кл}}, \text{ м}$	$P_{\text{р.кл}}, \text{ кВт}$	$U_{\text{пот}}, \%$
ЩО-2-го2.2	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	16,01	1,968	1,051
ЩО-2-го2.3	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	20,01	1,306	0,871
ЩО-2-го2.4	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	26,01	0,732	0,631
ЩО-2-го2.5	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	28,01	1,128	1,051
ЩО-2-го2.6	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	24,51	1,261	1,031
ЩО-2-го2.7	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	21,01	2,001	1,401
ЩО-3-го3.1	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	18,01	1,368	0,821
ЩО-3-го3.2	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	17,51	0,381	0,221
ЩО-3-го3.3	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	21,01	0,842	0,591
ЩО-3-го3.4	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	32,01	1,004	1,071
ЩО-3-го3.5	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	30,01	1,121	1,121
ЩО-3-го3.6	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	40,01	0,561	0,751
ЩО-3-го3.7	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	28,01	0,481	0,451
ЩО-3-го3.8	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	19,01	2,001	1,271
ЩО-4-го4.1	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	12,01	0,632	0,251
ЩО-4-го4.2	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	28,51	2,061	1,961
ЩО-4-го4.3	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	30,01	1,264	1,261
ЩО-4-го4.4	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	40,01	0,632	0,841
ЩО-4-го4.5	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	19,01	2,001	1,271
ЩО-4-го4.6	ВВГнг(А)-FRLS 3х2,5	22,01	2,001	1,471

Продолжение таблицы 5

Присоединение	Кабель	$L_{\text{кл}}, \text{ м}$	$P_{\text{р.кл}}, \text{ кВт}$	$U_{\text{пот}}, \%$
ЩАО-1-га1.1	ВВГнг(А)-FRLS 3x1,5	23,51	0,061	0,081
ЩАО-1-га1.2	ВВГнг(А)-FRLS 3x1,5	13,51	0,301	0,231
ЩАО-1-га1.3	ВВГнг(А)-FRLS 3x1,5	21,01	0,478	0,561
ЩАО-2-га2.1	ВВГнг(А)-FRLS 3x1,5	20,01	0,361	0,401
ЩАО-2-га2.2	ВВГнг(А)-FRLS 3x1,5	16,01	0,241	0,211
ЩАО-2-га2.3	ВВГнг(А)-FRLS 3x1,5	31,51	0,181	0,321
ЩАО-2-га2.4	ВВГнг(А)-FRLS 3x1,5	23,01	0,181	0,231
Нагруженные ГЭ				
ЩС-1-г1.1	ВВГнг(А)-FRLS 5x2,5	8,51	0,551	0,031
ЩС-1-г1.2	ВВГнг(А)-FRLS 5x2,5	10,01	1,501	0,081
ЩС-1-г1.3	ВВГнг(А)-FRLS 5x2,5	15,01	0,751	0,061
ЩС-1-г1.4	ВВГнг(А)-FRLS 5x6,0	7,01	9,601	0,161
ЩС-1-г1.5	ВВГнг(А)-FRLS 5x6,0	7,51	22,601	0,391
ЩС-1-г1.6	ВВГнг(А)-FRLS 5x6,0	8,01	15,001	0,281
ЩС-1-г1.7	ВВГнг(А)-FRLS 5x6,0	10,01	13,501	0,311
ЩС-1-г1.8	ВВГнг(А)-FRLS 5x2,5	8,01	1,501	0,071
ЩС-1-г1.9	ВВГнг(А)-FRLS 5x2,5	15,01	2,001	0,171
ЩС-2-г2.1	ВВГнг(А)-FRLS 5x4,0	12,01	16,701	0,701
ЩС-2-г2.2	ВВГнг(А)-FRLS 5x2,5	10,01	0,551	0,031

Теперь проведем проверку уставок УЗО.

4.3 Проверка выбора уставок

В соответствии с п.7.1.83. ПУЭ суммарный ток утечки сети с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы не должен превосходить $1/3$ номинального тока утечки [6].

При отсутствии данных ток утечки электроприемников следует принимать из расчета $0,4 \text{ мА}$ на 1 А тока нагрузки, а ток утечки сети - из расчета $0,01 \text{ мА}$ на 1 м длины фазного проводника. Расчет токов утечки представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет токов и выбор дифференциальных автоматических выключателей

Присоединение	Расчетный ток $I_{\text{расч}}$, А	Длина L , м	Ток утечки $I_{\text{ут}}$, мА	Тип дифавтомата	Ток утечки $I_{\text{ун}}$, мА
ЩС-1 - гр.1.10	3,80	10,0	1,62	АД-14, С16	30
ЩС-1 - гр.1.11	9,09	16,0	3,80	АД-14, С16	30
ЩС-1 - гр.1.12	3,8	18,0	1,70	АД-14, С16	30
ЩС-2 - гр.2.3	10,91	2,5	4,39	АД-14, С16	30
ЩС-2 - гр.2.4	10,23	2,0	4,11	АД-14, С16	30
ЩО-1 - гр.О.1.7	9,09	22,0	3,86	АД-14, С16	30
ЩО-2 - гр. О.2.7	9,09	18,0	3,82	АД-14, С16	30
ЩО-3 - гр. О.3.8	9,09	19,0	3,83	АД-14, С16	30
ЩО-4 - гр. О.4.5	9,09	19,0	3,83	АД-14, С16	30
ЩО-4 - гр. О.4.6	9,09	22,0	3,86	АД-14, С16	30

Вывод по разделу.

Для обеспечения надежности и бесперебойности электроснабжения дошкольного образовательного учреждения выбрана ТП киоскового типа. Рассчитаны сечения кабелей распределительной сети, уставки УЗО, на стороне НН выбраны АВ для защиты КЛ.

5 Расчет заземления и молниезащиты

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

В электрощитовой установить контур защитного заземления из металлической полосы 25×4 на высоте 0,4...0,6 м от уровня пола» [21].

«Для расчета заземления применим общеизвестные формулы.

Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{в.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2\pi L_{в.з}} \left(\ln \frac{2L_{в.з}}{d_{в.з}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{в.з} + L_{в.з}}{4 \cdot T_{в.з} - L_{в.з}} \right), \quad (25)$$
$$R_{вз} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 5,0} \left(\ln \frac{2 \cdot 5,0}{0,1} + 0,5 \cdot \ln \frac{4,0 \cdot 3,0 + 5,0}{4,0 \cdot 3,0 - 5,0} \right) = 16,07 \text{ Ом},$$

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

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

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

$T_{в.з}$ – заглубление, м» [14].

«Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{гз} = \frac{\rho_{э}}{2 \cdot \pi \cdot L_{гз}} \cdot \ln \frac{2L_{гз}^2}{b_{гз} \cdot h_{гз}}, \quad (26)$$
$$R_{гз} = \frac{100}{2\pi \cdot 5,0} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5,0^2}{0,04 \cdot 0,5} = 24,9 \text{ Ом},$$

где $b_{гз}$ – ширина горизонтально расположенного заземлителя, м;

$h_{гз}$ – заглубление горизонтальных заземлителей, м;

$L_{гз}$ – длина горизонтально расположенного заземлителя, м» [14].

«Полное сопротивление заземляющего устройства (ЗУ):

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{иi} n_i}{R_i}}, \quad (27)$$

$$R_{3,y} = \frac{1}{\frac{10 \cdot 0,69}{21,19} + \frac{1 \cdot 0,69}{24,9}} = 2,83 \text{ Ом},$$

где n_i – число комплектов;

k_{ni} – коэффициент использования» [14].

«Сопротивление заземляющего устройства является допустимым, поскольку полученное значение составляет менее 4 Ом» [14].

«Тип системы заземления на вводе в здание – TN-C-S, а в распределительных и групповых сетях – TN-S» [14].

«Данные системы заземления построены с применением глухозаземленной нейтрали. Характеризуются подключением нулевого проводника (N) к контуру заземления. При этом первый тип, на вводе в здания, характеризуется объединением защитного проводника РЕ и нулевого N в один комбинированный нуль (PEN) с подстанции, подключенного к глухозаземленной нейтрали. На входе в здание PEN проводник разделяется на N и РЕ проводники. Система заземления в распределительных и групповых сетях является более безопасной, имеет разделенные защитные проводники РЕ и нулевые N» [14].

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

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

- нулевой защитный РЕ- или PEN-проводник питающей линии в системе TN;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах IT и TT;

- заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п.» [14].

«Здание относится к обычным объектам по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения (к III категории по устройству молниезащиты). Кровля здания выполнена плоской. В качестве молниеприемника применяется молниеприемная сетка из полосовой стали 25×4, которая располагается на кровле. Молниеприемная сетка укладывается под слоем утеплителя(несгораемого) и гидроизоляции. Шаг ячеек сетки не должен превышать 10×10м. Узлы стальной сетки соединяются посредством сварки. Полосы сетки проходят по краю крыши (рисунок 5)» [16].

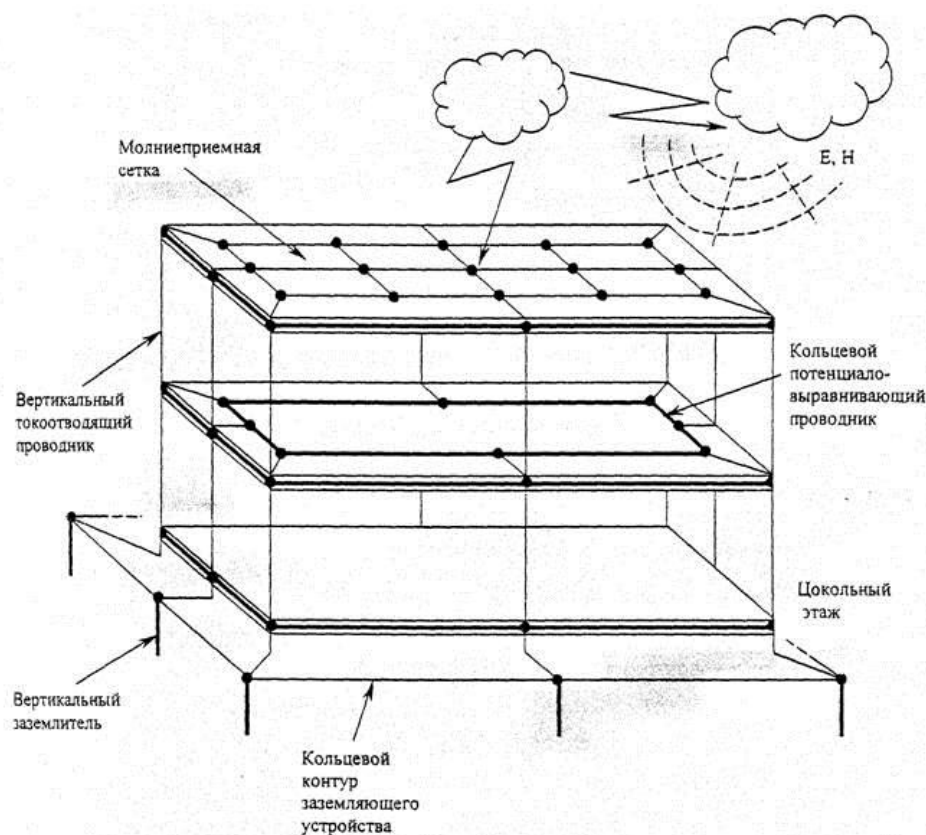


Рисунок 5 – Схема заземляющего контура и молниезащиты

Молниезащитная сетка должна быть спроектирована таким образом, чтобы ток молнии имел два независимых пути к заземлителю. Все металлические элементы конструкции детского сада, расположенные над кровлей, подключены к этой молниеприемной сетке.

«Также для защиты от поражения электрическим током предусмотрены следующие меры:

- автоматическое отключение питания аварийных участков сети. Для автоматического отключения питания используются автоматические выключатели, реагирующие на сверхтоки; дифференциальные автоматы, реагирующие на сверхток и дифференциальный ток. Время автоматического отключения не превышает 0,4 с.
- защитное заземление (зануление). Все открытые проводящие части присоединяются к нейтрали источника питания посредством РЕ проводника. В качестве РЕ проводника используется отдельная жила питающего кабеля.
- основная система уравнивания потенциалов. В качестве главной заземляющей шины (ГЗШ) используется медная шина $75 \times 5 \times 350$. ГЗШ устанавливается в ГРЩ (шина РЕ). К ГЗШ присоединены металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: канализации, водоснабжения; металлические части систем вентиляции; заземляющее устройство системы молниезащиты» [14].

Вывод по разделу.

Расчетные параметры заземления и молниезащиты соответствуют нормативным требованиям, не превышая предельно допустимых значений. Сопротивление заземляющего контура составляет менее 4 Ом, что соответствует требованиям ПУЭ.

Заключение

В ВКР разработана система электроснабжения дошкольного образовательного учреждения.

Проектирование началось с анализа нагрузок электроприемников детского сада, на основании которого были определены суммарные нагрузки и подобраны трансформаторы. Выбор был сделан в пользу двух трансформаторов ТМГ-100/6/0,4, устанавливаемых в ТП киоскового типа выбранной с использованием каталожных данных. Использование отдельно выбранного оборудования ТП позволяет минимизировать затраты на закупку электрооборудования.

В дальнейшем рассчитаны токи КЗ для четырех точек. На стороне 6 кВ периодическая составляющая тока КЗ составила 10,17 кА, ударный ток – 20,14 кА. На стороне 0,4 кВ максимальные значения периодической составляющей и ударного тока составили 2,87 кА и 5,72 кА соответственно. Значения рассчитанных токов КЗ уменьшались по мере отдаления от источника короткого замыкания.

По результатам расчета токов КЗ было проверено соответствие оборудования, входящего в состав ТП, требованиям термической и электродинамической стойкости. Оборудование проверку прошло успешно. Далее, на стороне НН были подобраны КЛ и АВ с учетом расчетных токов, а также рассчитаны уставки УЗО.

В заключение был произведен расчет заземления и молниезащиты детского сада, отнесенного к III категории по устройству молниезащиты, предприняты меры защиты от поражения электрическим током с учетом нормативных документов. Молниезащита выполнена в виде молниеприемной сетки. Расчет заземления включал определение сопротивления заземляющего устройства с учетом сопротивлений горизонтальных и вертикальных заземлителей. Сопротивление составило 2,83 Ом, что соответствует нормативным требованиям.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2024. 415 с.

2. Выбор автомата по сечению кабеля и мощности нагрузки [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <https://lgm.md/ru/9-statii/31-vybor-avtomata-po-secheniyu-kabelya-i-moshchnosti-nagruzki> (дата обращения: 21.06.2025).

3. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : утв. приказом от 21.10.1993. URL: https://www.testprom.ru/img_user/gosts/29/020/gost_28249-93.pdf (дата обращения: 21.06.2025).

4. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Электронный ресурс] : Межгосударственный стандарт утв. приказом №191-ст от 12.07.2012. URL: <https://evrogenstroy.ru/wp-content/uploads/2020/05/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2-30494-2011-1.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).

5. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Межгосударственный стандарт утв. приказом №1097-ст от 22.11.2012. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293780/4293780771.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).

6. ГОСТ Р 50571.5.52-2011. Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки [Электронный ресурс] : Национальный стандарт РФ утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 13.12.2011 N 925-ст. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293792/4293792410.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).

7. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : Национальный стандарт РФ утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <https://meganorm.ru/Data/9/925.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).

8. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением выше 1 кВ [Электронный ресурс] : утв. Приказом №173-ст от 12.12.2007. URL: <https://meganorm.ru/Data/55/5593.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).

9. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий [Электронный ресурс] : Национальный стандарт РФ утв. приказом №1364-ст от 08.11.2013. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293774/4293774885.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).

10. Кабель ААБл 3×10 [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-bumajnoi-izolyaciei/aabl-1kv/kabel-aabl-3x10.html> (дата обращения: 21.06.2025).

11. Кабель АПвВГ 3×95 [Электронный ресурс] : Официальный сайт поставщика кабельной продукции. URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-izolyacziej-iz-silanolnosshitogo-polietilena-\(1kv\)/apvvg/kabel-apvvg-3x95.html](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-izolyacziej-iz-silanolnosshitogo-polietilena-(1kv)/apvvg/kabel-apvvg-3x95.html) (дата обращения: 21.06.2025).

12. Каталог светильников «CSVТ» [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЗАО «Центрстройсвет». URL: <https://csvt.ru/production/> (дата обращения: 21.06.2025).

13. Каталог электротехнического оборудования [Электронный ресурс] : Официальный сайт акционерного общества «Группа компаний «Электрощит»-ТМ Самара». URL: <https://www.electroshield.ru/catalog/> (дата обращения: 21.06.2025).

14. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс] : утвержден Министерство топлива и энергетики РФ от 06.10.1999. URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200003114?marker=7D20K3> (дата обращения: 05.03.2025).

15. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Электронный ресурс] : Руководящий документ утв. приказом №213 от 07.07.1994. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4294851/4294851704.htm> (дата обращения: 21.06.2025).

16. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [Электронный ресурс] : Инструкция утв. приказом №280 от 30.06.2003. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294815/4294815349.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).

17. СП 118.13330.2012. Общие здания и сооружения [Электронный ресурс] : Свод правил утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/10) (ред. от 19.12.2019). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293802/4293802586.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).

18. СП 252.1325800.2016. Здания дошкольных образовательных учреждений [Электронный ресурс] : Свод правил утв. Приказом Минстроя России от 17.08.2016 N 573/пр. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293752/4293752522.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).

19. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа [Электронный ресурс] : Свод правил утв. Приказом Минстроя России от 29.08.2016 N 602/пр. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293751/4293751598.htm> (дата обращения: 21.06.2025).

20. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [Электронный ресурс] : Свод правил по проектированию и строительству утв. приказом №194 от 26.10.2013. URL:

<https://meganorm.ru/Data2/1/4294815/4294815197.pdf> (дата обращения: 21.06.2025).

21. Требования к релейной защите [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: [https://pue8.ru/relejnaya-zashchita/238-trebovaniya-k-relejnoj-zashchite».html](https://pue8.ru/relejnaya-zashchita/238-trebovaniya-k-relejnoj-zashchite.html) (дата обращения: 21.06.2025).