

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 учреждения

Обучающийся

Д.А. Башкирцев  
(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 2022

## Аннотация

В выпускной квалификационной работе рассматривается система электроснабжения детского сада в г. Новокуйбышевск.

Для объекта проведен комплексный первичный анализ, в ходе которого выявлены основные проблемы со стороны системы электроснабжения.

Для оптимального варианта схемы проведен выбор исполнения внешних и внутренних сетей электроснабжения и выбор проводников, удовлетворяющих всем требованиям для прокладки в детских учреждениях.

Выполнен выбор элементов систем внутреннего, внешнего и аварийного освещения. Определены марки и количество светильников для каждой из систем.

Проведен расчет ожидаемых электрических нагрузок и выполнена разбивка потребителей по групповым щитам.

Выбрано основное электрооборудование системы электроснабжение детского сада: кабели, аппараты защиты, распределительные щиты, панель ВРУ и другое.

Определены величины токов коротких замыканий в различных точках схемы.

Выбрана система заземления и определена конфигурация заземляющего устройства.

Выпускная квалификационная работа оформлена на 55 страницах, включает 17 рисунков, 10 таблиц.

Графическая часть ВКР выполнена на 6 листах формата А1.

## **Abstract**

The title of the graduation work is "Power supply of a preschool institution".

The graduation work consists of an explanatory note on 55 pages, includes 17 figures, 10 tables, the list of 27 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of this work is creation of a safety and reliable system of power supply for a kindergarten.

The object of the graduation project is kindergarten, located in the city of Novokuybishevsk, Samara area.

The subject of the work is system of power supply (included power supply and lighting systems).

The issues of the project are calculating of expected electrical loads, calculation and choose of lighting systems', short circuit currents and selecting of modern equipment, calculating of grounding systems`efficiency are highlighted in the project`s general part.

In conclusion we`d like to stress this work is relevant not only in solving the problem of power supply system for a kindergarten in Novokuybishevsk but also similar technological and constructive solutions can be used on all this type kindergartens of the Russia.

## Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика объекта.....	7
2 Выбор исполнения систем электроснабжения.....	12
2.1 Выбор исполнения системы внешнего электроснабжения.....	12
2.2 Выбор исполнения системы внутреннего электроснабжения.....	12
3 Освещение детского сада.....	14
3.1 Внутреннее освещение.....	14
3.2 Аварийное освещение.....	16
3.3 Наружное освещение.....	17
4 Расчет электрических нагрузок.....	19
5 Выбор электрооборудования и проводников.....	27
5.1 Выбор силовых кабелей.....	27
5.2 Выбор розеток и выключателей.....	28
5.3 Выбор распределительных щитов.....	30
5.4 Выбор аппаратов защиты.....	34
6 Расчет токов коротких замыканий.....	37
7 Проверка выбранного оборудования и проводников.....	46
8 Расчет заземления детского сада.....	47
8.1 Выбор системы заземления.....	47
8.2 Конфигурация и расчет заземляющего устройства.....	48
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	52

## Введение

Отрасль, которая отвечает за производство, передачу, сбыт и распределение электричества представляет собой крупнейшую систему электроэнергетики России. Электроэнергетика является базовой отраслью российской экономики, обеспечивающей электрической и тепловой энергией внутренние потребности народного хозяйства и населения, а также осуществляющей экспорт электроэнергии в страны СНГ и дальнего зарубежья.

Жизнь современного человека немыслима без электрической энергии, она плотно вошла во все сферы нашей жизни и окружает нас с малых лет.

Для различных объектов существуют свои особенности, нормы и правила проектирования и строительства электрических сетей, от соблюдения которых зависит комфорт, благополучие, а главное безопасность людей, находящихся в этих объектах.

Самой незащищенной категорией людей являются маленькие дети, для которых электричество представляет огромную опасность, а значит и системы электроснабжения дошкольных и образовательных учреждений должны отвечать повышенным требованиям надежности и безопасности, поэтому здания детских учреждений являются зоной повышенного внимания со стороны инспектирующих органов, например, государственный пожарный надзор, санэпидемстанция, органы строительного надзора и тому подобное. К дошкольным образовательным учреждениям выдвигаются жесткие нормативные требования, а особенно в области электроснабжения, устройства электрических сетей, электрического освещения.

Сегодня все чаще мы видим новости о том, что инженерные системы в дошкольных учреждениях находятся в неудовлетворительном состоянии, что подвергает детей опасности, ведь от состояния системы электроснабжения зависит не только освещение, но иногда и отопление, системы водоснабжения и водоотведения, а также общий микроклимат и уют в

помещениях. Комфортное и безопасное пребывание детей в дошкольном учреждении невозможно без создания оптимального микроклимата, соблюдения требований по минимальной освещенности, уровню шума и другим внешним факторам.

Цель выпускной квалификационной работы – создание безопасной и надежной системы электроснабжения детского сада.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- выполнить первичное обследование объекта и выявить основные проблемы;
- произвести расчет ожидаемых электрических нагрузок;
- выбрать основное электрооборудование и проводники, выполнить их проверку;
- определить значение токов короткого замыкания (КЗ) в различных точках схемы;
- выполнить расчет системы заземления.

## 1 Характеристика объекта

Рассматриваемый объект – двухэтажное здание детского сада в г. Новокуйбышевск Самарской области. Планировочная организация земельного участка с топографической съёмкой приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – План местности

На плане голубым цветом отмечено здание детского сада, розовым – здание трансформаторной подстанции, от которой приходят питающие линии. Общая площадь застройки составляет 640,8 кв.м. Категория надежности электроснабжения согласно СП 31-110-2003 – вторая.

Основные потребители электроэнергии:

- общее электроосвещение, осветительные и бытовые электроприборы;
- технологическое оборудование вспомогательных служб;
- общеобменная вентиляция;
- технологическое электрооборудование пищеблока.

Так как в основные часы в здании находятся маленькие дети, принимаемые далее технические решения должны обеспечивать максимальную безопасность при эксплуатации, кроме того, стоит применять специальные меры для предотвращения случайного электротравматизма. И если в большинстве случаев взрослые могут пострадать от электричества либо случайно, либо по собственной неосторожности, то ситуация с детьми выглядит несколько иначе: не зная об опасности, они нередко становятся жертвой собственного любопытства.

Текущее состояние многих детских садов – неудовлетворительное, рассмотрим несколько сомнительных моментов на рассматриваемом объекте.

На рисунках 2-4 показано состояние системы освещения детского сада: устаревшие светильники с люминесцентными лампами, отсутствие защитных плафонов и рассеивателей, удручающее состояние выключателей – все это снижает безопасность эксплуатации объекта.



Рисунок 2 – Отсутствие рассеивателя на светильнике

В ряде случаев состояние электроустановочных изделий и электропроводки недопустимо с точки зрения безопасности эксплуатации.

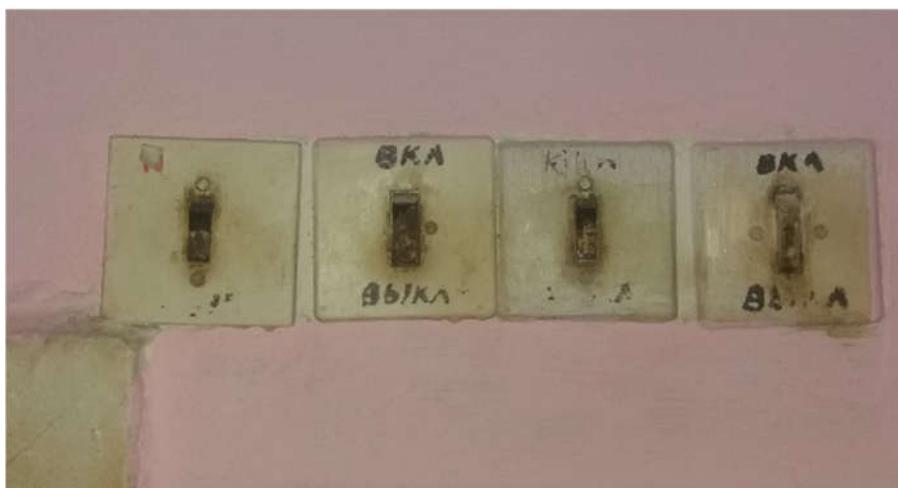


Рисунок 3 – Удручающее состояние выключателей



Рисунок 4 – Отсутствие рассеивателя или защитного плафона на светильнике

Кроме того, в детском саду применяются устаревшие розетки без защитных «шторок», что нарушает п.7.1.49 ПУЭ «Штепсельные розетки, устанавливаемые в квартирах, жилых комнатах общежитий, а также в помещениях для пребывания детей в детских учреждениях (садах, яслях, школах и т.п.), должны иметь защитное устройство, автоматически закрывающее гнезда штепсельной розетки при вынутой вилке» [12]. Отразим это на рисунке 5.



*a*



*б*

Рисунок 5 – Применение розеток без защитных «шторок»

Так же, в ходе обследования обнаружено, что в детском саду присутствуют участки электрической сети, проложенной открыто в гофрированной трубе, что согласно СП 252.1325800.2016 недопустимо. Это показано на рисунке 6.



Рисунок 6 – Недопустимая прокладка кабеля

При монтаже электрических сетей в детских учреждениях важно учитывать не только особенные требования к материалам, но и повышенные требования к способам монтажа кабельных сетей в таких зданиях. «В общеобразовательных, дошкольных и детских учреждениях во всех помещениях общественного назначения укладка кабеля должна осуществляться скрыто (замоноличены в строительных конструкциях или в металлорукаве или трубах), в технических и подсобных помещениях разрешается открытая проводка» [19].

Совокупность этих недочетов со стороны электроснабжения не позволяет эксплуатировать детский сад с требуемым уровнем безопасности и требует немедленного пересмотра системы электроснабжения, начиная с внешней системы электроснабжения.

Для дальнейших расчетов так же приведем климатические параметры местности:

- снеговая нагрузка, кг/м<sup>2</sup> – 38 (III район);
- ветровая нагрузка, кг/м<sup>2</sup> – 240 (IV район);
- количество грозных часов в году – 60-80.

Вывод: в разделе дана краткая характеристика рассматриваемого объекта – детского сада. Выявлен ряд проблем со стороны системы электроснабжения, решение которых позволит получить один из вариантов улучшенной, отвечающей всем современным нормам и правилам системы электроснабжения.

## **2 Выбор исполнения систем электроснабжения**

### **2.1 Выбор исполнения системы внешнего электроснабжения**

Внешнее электроснабжение детского сада осуществляется от существующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ. Подключение происходит от шин РУ-0,4 кВ кабельной линией, проложенной в земле. Согласно ПУЭ, «кабели прокладываются на глубине не менее 0,7 м от планировочной отметки земли» [12] в траншее на песчаную подушку. Сверху «кабель должен иметь засыпку слоем мелкопросеянной земли или песка и защищен от механических повреждений» [26] красным полнотелым кирпичом по всей длине.

Кроме того, «кабели необходимо укладывать с запасом по длине, достаточным для компенсации температурных деформаций кабеля и конструкций» [12], а также возможных смещений слоев грунта. Ввод кабельных линий в здании осуществляется через трубный блок, который в последствие заполняется противопожарным герметиком.

Для подключения детского сада принимается кабель марки АВБбШв – силовой бронированный лентами кабель, с алюминиевой жилой, изоляцией и защитным шлангом из ПВХ. Сечение и потери напряжения в кабельной линии определим далее по данным расчета ожидаемых нагрузок.

### **2.2 Выбор исполнения системы внутреннего электроснабжения**

В здании детского сада устанавливается панель вводного распределительного устройства (ВРУ), от шин которого отходят линии до групп потребителей. Вся проводка внутри здания скрытая в соответствии с требованиями СП 252.1325800.2016. Сети группируются поэтажно и по назначению потребителей. В здании детского сада устанавливаются щиты силовые (ЩС-1, ЩС-2 для первого и второго этажа соответственно), щиты

освещения (ЩО-1, ЩО-2 для первого и второго этажа соответственно), щит аварийного освещения (ЩАО-1), панель наружного освещения территории и панель питания электрооборудования систем противопожарной защиты.

Согласно ПУЭ, «в зданиях следует применять кабели и провода с медными жилами» [12].

Групповые сети выполняются кабелями ППГнг(А)-HF и ППГнг(А)-FRHF – «силовой огнестойкий кабель, с медными однопроволочными или многопроволочными токопроводящими жилами, в огнестойкой оболочке и обмотке из слюдосодержащих лент» [7]. Изоляция и оболочка выполнены из полимерных композиций, не содержащих галогенов. Кабель не распространяет горение при прокладке в пучках, что особенно важно при прокладке в здании детского учреждения. Стоек к воздействию плесневых грибов. Сечения групповых линий определим далее по данным расчета ожидаемых нагрузок.

Сети питания наружного освещения выполняются кабелями ВВГнг(А)-LS – «кабель, с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ пониженной пожарной опасности» [6]. Сечения линий питания наружного освещения определим далее по данным расчета ожидаемых нагрузок.

Вывод: в разделе определены типы исполнения внешнего и внутреннего электроснабжения детского сада. Выбраны тип прокладки, марки кабельных линий в соответствии с нормативно-технической документацией.

### 3 Освещение детского сада

#### 3.1 Внутреннее освещение

В детских помещениях учреждения должен обеспечиваться максимум естественного света. Его может не быть только в некоторых помещениях: душевых, уборных, умывальных, комнатах для персонала.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21, «в групповых и игровых комнатах допустимо совмещенное освещение, если оно рационально с точки зрения объемно-планировочного решения объекта» [15]. Здесь понимают дополнение естественного света искусственным в течение полного дня. Это касается пасмурных дней, коротких световых дней осенью и зимой, детских садов, окруженных густой растительностью вблизи окон первого этажа.

Для выбора числа и мощности светильников приведем данные по нормам освещенности для помещений детского сада в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы освещенности для помещений детского сада

Название помещения	Освещенность при общем освещении, лк	Показатель дискомфорта UGR, не более	Коэффициент пульсации, %, не более
Приемные	200	25	15
Раздевальные	200	60	20
Групповые, игровые, столовые, комнаты музыкальных и гимнастических занятий	200 (400)	15	10
Спальные	75 (150)	25	15
Изоляторы, комнаты для заболевших детей	200	25	15

Согласно СП 2.4.3648-20 «система общего освещения обеспечивается потолочными светильниками с разрядными, люминесцентными или светодиодными лампами со спектрами светоизлучения: белый, тепло-белый, естественно-белый. Не допускается в одном помещении использовать разные

типы ламп, а также лампы с разным светоизлучением» [18]. Для эксплуатации в детском саду выберем передовые разработки в области светотехники – светодиодные светильники. Применение таких источников света также позволит «повысить энергоэффективность здания за счет меньшего энергопотребления» [25].

К установке в групповых и игровых комнатах примем светильники СДПО СТС 01-40-106 40 Вт и СВПО СТС 01-30-006 30 Вт IP54.

Покажем моделирование освещения на примере одного из групповых помещений второго этажа. План помещения с расстановкой светильников приведен на рисунке 7, а нанесенные диаграммы освещенности на рисунке 8.

Исходные данные для моделирования – размеры помещения (11,70x5,5 м), коэффициенты отражения поверхностей (потолок 70%, стены 50%, пол 20%), норма освещенности (400 лк).

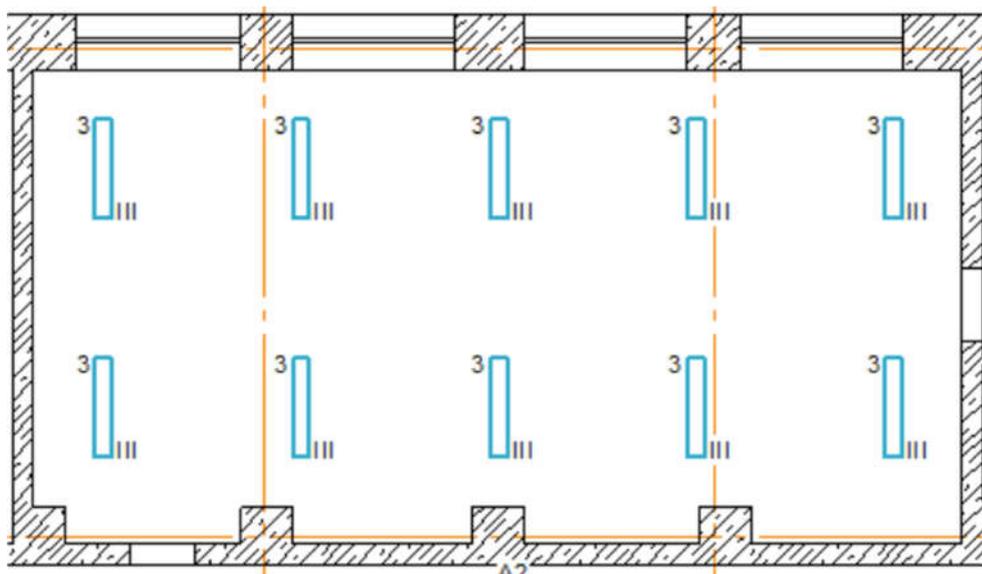


Рисунок 7 – Размещение светильников в групповой комнате

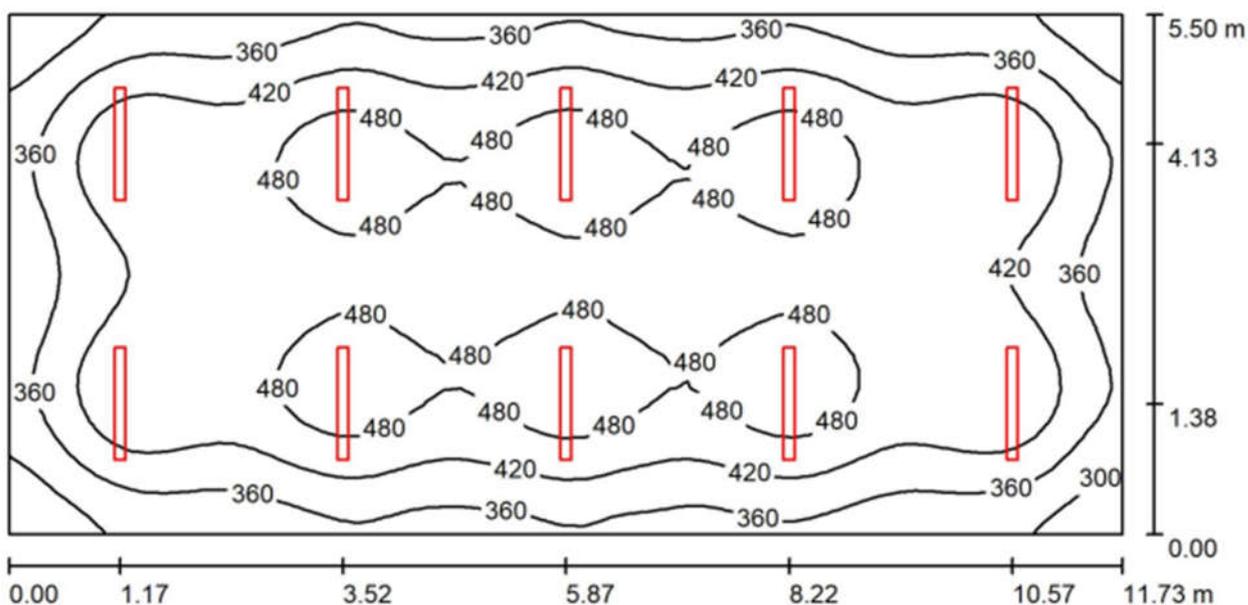


Рисунок 8 – Диаграммы освещенности

Расчет для других помещений детского сада проведен аналогичным образом.

Разбивку светильников по группам произведем в следующих разделах.

### 3.2 Аварийное освещение

Аварийное освещение в детском саду как на объекте с постоянным пребыванием детей дошкольного возраста имеет особенное значение. Согласно СП 52.13330.2016 «на путях эвакуации шириной до 2 м, включая лестничные марши, нужно обеспечить не менее 50% нормируемой освещенности спустя 5 с после нарушения работы рабочего освещения и не менее 100% через 10 с» [21].

Кроме того:

«– Нормируемая освещенность на горизонтальной поверхности – не менее 5 лк.

– Предельная равномерность освещенности  $E_{\text{мин}}/E_{\text{макс}}$  – не более 1:40.

– Продолжительность работы аварийного освещения – 1 ч» [21].

Питание системы аварийного освещения производится от щита аварийного освещения (ЩАО). В качестве светильников аварийного освещения применяются СДПО СТС 01-33-106 БАП и СВПО СТС 01-33-006 БАП. Они оснащены встроенными аккумуляторными блоками (БАП) позволяющими работать до 90 мин при отключении питания, что соответствует требованиям СП 52.13330.2016.

### **3.3 Наружное освещение**

Также рассмотрим систему наружного освещения детского сада. Согласно СП 52.13330.2016 «подходы, дорожки и подъезды детских учреждений относятся к классу объектов по освещению П4» [21]. Средняя освещенность территории детского сада на указанных участках «составляет не менее 4 лк» [21].

Система выполнена на базе светильников «Тополь М» и «Каштан» отечественного производства LED effect.

«ТОПОЛЬ М ДКУ – бюджетные консольные светодиодные светильники нового поколения. Они предназначены для монтажа на стандартные опоры уличного освещения диаметром до 48мм, так же могут устанавливаться на стену при помощи кронштейна с регулировкой угла наклона светильника» [17].

Преимущества:

- «– Высокая эффективность светильников – более 100 лм/Вт;
- Экономия электроэнергии более чем в 3,5 раза по сравнению со светильниками с лампами ДРЛ 125-250 Вт;
- Рассеиватель выполнен из прочного прозрачного поликарбоната толщиной 2 мм;
- Замена источника питания без демонтажа светильника;
- Степень защиты IP 67» [17].

«Каштан – торшерные светодиодные светильники комфортного отраженного света. Светильники предназначены для торшерного монтажа на стандартные опоры уличного освещения диаметром до 61 мм. Светильники предназначены для создания комфортной световой среды за счет применения схемы отраженного света, исключен эффект ослепления» [16].

Преимущества:

- «– Светодиоды фирмы OSRAM, PHILIPS;
- Комфортный мягкий отраженный свет;
- Простой монтаж на стандартные опоры уличного освещения, d до 61 мм;
- Не требует специального обслуживания;
- Не требует специальной утилизации;
- Степень защиты IP 67» [16].

Питание системы освещения выполнена от панели управления освещением внутри панели ВРУ (блок управления автоматический, по сигналу от фотореле ФР-601, на 8 групп).

Группы однофазные, задействовано 4 группы – одна на кровлю (7 светильников «Тополь М»), три на территорию (по 6 светильников «Каштан» в каждой).

Вывод: в разделе определено исполнение систем внутреннего, наружного и аварийного освещения детского сада и выбраны типы светильников.

#### 4 Расчет электрических нагрузок

Расчет будем проводить в соответствии с разделом 7.2 СП 256.1325800.2016. Нагрузки распределим по силовым распределительным пунктам: силовым щитам, щитам освещения.

Нагрузки по силовым щитам первого и второго этажей покажем в таблицах 2 и 3 соответственно.

Таблица 2 – Нагрузки силового щита первого этажа (ЩС-1)

№ группы	гр.1	гр.2	гр.3	гр.4	гр.5	гр.6	гр.7	гр.8	гр.9
Розетка 1 пост 60 Вт (п.7.2.4 СП)	–	5	6	–	–	–	–	–	–
Розетка 1 пост 100 Вт	–	3	–	–	–	–	–	–	–
Розетка 2 поста 100 Вт	4	–	–	3	3	–	–	–	–
Розетка 2 поста 250 Вт компьютеры	–	–	–	3	4	–	–	–	–
Розетка 1 пост 1,06 кВт - кондиционер	–	–	1	–	–	1	2	2	–
Розетка 1 пост 2,1 кВт - кондиционер	–	–	–	–	–	–	1	1	2
Мощность, кВт	0,8	0,6	1,42	2,1	2,6	1,42	4,22	4,22	4,2
Ток, А	3,64	2,73	6,45	9,55	11,82	6,45	19,18	19,18	19,9
Дифф. автомат	C20- 0,03								
Кабель	ППГнг(А)-HF								
Сечение	3×2,5	3×2,5	3×2,5	3×2,5	3×2,5	3×2,5	3×2,5	3×2,5	3×2,5

Итого по ЩС-1:

Установленная мощность электрооборудования:  $P_{уст} = 21,58$  кВт

Расчетная нагрузка с учетом коэффициента спроса определяется по формуле 1:

$$P_p = P_{уст} K_c, \quad (1)$$

где « $K_c = 0,4$  – для розеточных сетей» [20] по таблице 7.7 СП 256.1325800.2016

$$P_p = 21,58 \cdot 0,4 = 8,63 \text{ кВт.}$$

Расчетный ток определим по формуле 2:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_n \cos\varphi}, \quad (2)$$

где  $\cos\varphi = 0,93$  – по таблице 7.12 СП 256.1325800.2016 и по паспортным данным электрооборудования

$$I_p = \frac{8,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93} = 14,1 \text{ А.}$$

Для защиты отходящих линий применены автоматические выключатели и дифференциальные автоматические выключатели с кривой отключения типа С.

Таблица 3 – Нагрузки силового щита первого этажа (ЩС-2)

№ группы	гр.1	гр.2	гр.3	гр.4	гр.5	гр.6	гр.7	гр.8	гр.9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розетка 1 пост 60 Вт (п.7.2.4 СП)	6	3	–	4	6	3	–	–	–
Розетка 1 пост 100 Вт	–	2	–	–	–	–	–	–	–
Розетка 2 поста 100 Вт	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Розетка 2 поста 250 Вт компьютеры	–	–	3	–	–	–	–	–	–
Розетка 1 пост 1,06 кВт - кондиционер	1	–	1	1	2	2	–	–	–

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розетка 1 пост 2,1 кВт - кондиционер	–	1	–	1	–	–	–	–	–
Резерв	–	–	–	–	–	–	Резерв	Резерв	Резерв
Мощность, кВт	2,48	2,48	2,56	3,4	2,48	2,3	-	-	-
Ток, А	11,27	11,27	11,64	15,45	11,27	10,45	-	-	-
Дифф. автомат	C20- 0,03								
Кабель	ППГнг(А)-HF								
Сечение	3×2,5	3×2,5	3×2,5	3×2,5	3×2,5	3×2,5	-	-	-

Итого по ЩС-2:

Установленная мощность электрооборудования:  $P_{уст} = 15,7$  кВт

Коэффициент спроса:  $K_c = 0,4$

Расчетная нагрузка:  $P_p = 6,28$  кВт

$\cos\varphi = 0,93$  (по таблице 7.12 СП 256.1325800.2016 и по паспортным данным электрооборудования)

Расчетный ток:  $I_p = 10,26$  А.

Далее аналогичным образом рассмотрим щиты освещения. Нагрузки по щитам освещения первого и второго этажей покажем в таблицах 4 и 5 соответственно.

Таблица 4 – Нагрузки щита освещения первого этажа (ЩО-1)

№ группы	гр.1	гр.2	гр.3	гр.4	гр.5	гр.6	гр.7
Светильник СДПО СТС 01-40-106 40 Вт	6	1	17	12	10	12	–
Светильник СВПО СТС 01-30-006 30 Вт IP54	1	18	–	–	–	–	–
Резерв	–	–	–	–	–	–	Резерв
Мощность, кВт	0,27	0,58	0,68	0,48	0,4	0,48	-
Ток, А	1,23	2,64	3,09	2,18	1,82	2,18	-
Автомат; дифф. автомат	C6	C6- 0,03	C6	C6	C6	C6	C6
Кабель	ППГнг(А)-HF						
Сечение	3×1,5	3×1,5	3×1,5	3×1,5	3×1,5	3×1,5	-

Итого по ЩО-1:

Установленная мощность электрооборудования:  $P_{уст} = 2,89$  кВт

Коэффициент спроса: « $K_c = 1,0$  – для осветительных установок» [20] по табл. 7.6 СП 256.1325800.2016

Расчетная нагрузка:  $P_p = 2,89$  кВт

$\cos\varphi = 0,95$  – по паспортным данным светильников

Расчетный ток:  $I_p = 4,62$  А

Таблица 5 – Нагрузки щита освещения второго этажа (ЩО-2)

№ группы	гр.1	гр.2	гр.3	гр.4	гр.5	гр.6	гр.7
Светильник СДПО СТС 01-40-106 40 Вт	16	–	12	14	10	–	–
Светильник СВПО СТС 01-30-006 30 Вт IP54	1	10	–	–	–	–	–
Резерв	–	–	–	–	–	Резерв	Резерв
Мощность, кВт	0,67	0,3	0,48	0,56	0,4	-	-
Ток, А	3,05	1,36	2,18	2,55	1,82	-	-
Автомат; дифф. автомат	С6	С6- 0,03	С6	С6	С6	С6	С6
Кабель	ППГнг(А)-HF						
Сечение	3×1,5	3×1,5	3×1,5	3×1,5	3×1,5	-	-

Итого по ЩО-2:

Установленная мощность электрооборудования:  $P_{уст} = 2,41$  кВт

Коэффициент спроса: « $K_c = 1,0$  – для осветительных установок» [20] по табл. 7.6 СП 256.1325800.2016

Расчетная нагрузка:  $P_p = 2,41$  кВт

$\cos\varphi = 0,95$  – по паспортным данным светильников

Расчетный ток:  $I_p = 3,85$  А

Перейдем к рассмотрению щита аварийного освещения (ЩАО-1).  
Нагрузки аналогично предыдущим сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Нагрузки щита аварийного освещения (ЩАО-1)

№ группы	гр.1	гр.2	гр.3	гр.4
Светильник СДПО СТС 01-33-106 БАП 33 Вт	4	4	3	–
Светильник СВПО СТС 01-33-006 БАП 33 Вт	4	5	5	–
Резерв	–	–	–	Резерв
Мощность, кВт	0,264	0,297	0,264	-
Ток, А	1,2	1,35	1,2	-
Автомат; дифф. автомат	С6	С6	С6	С6
Кабель	ППГнг(А)-FRHF			
Сечение	3×1,5	3×1,5	3×1,5	-

Итого на ЩАО-1:

Установленная мощность электрооборудования:  $P_{уст} = 0,83$  кВт

Коэффициент спроса: « $K_c = 1,0$  – для осветительных установок» [20] по табл. 7.6 СП 256.1325800.2016

Расчетная нагрузка:  $P_p = 0,83$  кВт

$\cos\varphi = 0,95$  – по паспортным данным светильников

Расчетный ток:  $I_p = 1,34$  А

Перейдем к рассмотрению питания наружного освещения. Питание осуществляется от панели управления освещением внутри панели ВРУ (блок управления автоматический, по сигналу от фотореле ФР-601, на 8 групп).

Группы однофазные, задействовано 4 группы – одна на кровлю (7 светильников «Тополь М»), три на территорию (по 6 светильников «Каштан» в каждой). Нагрузки аналогично предыдущим сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Нагрузки системы наружного освещения (ЩНО-1)

№ группы	гр.1	гр.2	гр.3	гр.4	гр.5-гр.8
1	2	3	4	5	6
Светильник «Тополь М» 50 Вт	7	–	–	–	–
Светильник «Каштан» 54 Вт	–	6	6	6	–

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6
Резерв	–	–	–	–	Резерв
Мощность, кВт	0,35	0,324	0,324	0,324	-
Ток, А	1,59	1,47	1,47	1,47	-
Автомат; дифф. автомат	C6	C6	C6	C6	C6
Кабель	ВВГнг(А)-LS				
Сечение	3×2,5	3×2,5	3×2,5	3×2,5	-

Итого по ЩНО-1:

Установленная мощность электрооборудования:  $P_{уст} = 1,32$  кВт

Коэффициент спроса: « $K_c = 1,0$  – для осветительных установок» [20] по табл. 7.6 СП 256.1325800.2016

Расчетная нагрузка:  $P_p = 1,32$  кВт

$\cos\varphi = 0,95$  – по паспортным данным светильников

Расчетный ток:  $I_p = 1,34$  А

Кроме силовых щитов и щитов освещения, в расчет общей нагрузки включается панель питания электрооборудования систем противопожарной защиты (ПЭСПЗ) – «распределительная панель в составе многопанельного низковольтного комплектного устройства, присоединяемая к вводной панели с автоматическим вводом резерва и предназначенная для питания электрооборудования системы противопожарной защиты. При этом низковольтное комплектное устройство может быть представлено как вводно-распределительное устройство, вводное устройство, главный распределительный щит или распределительный щит, комплектуемый встроенным автоматическим вводом резерва» [22]. Панель ПЭСПЗ устанавливается в соответствии с требованием раздела 5 СП 6.13130.2021, представляет собой отдельный металлический шкаф навесного исполнения, окрашенный в красный цвет. От панели ПЭСПЗ питаются:

– щит аварийного освещения ЩАО - 0,83 кВт;

– автоматическая пожарная сигнализация и система управления эвакуацией – 0,7 кВт;

– система видеонаблюдения и СКУД – 0,8 кВт.

Мощность панели ПЭСПЗ рассматривается в двух режимах: нормальном и режиме «пожар». Режим «пожар» характеризуется включением автоматической пожарной сигнализации и системой управления эвакуацией.

Таким образом, мощность по панели ПЭСПЗ составляет:

- в нормальном режиме:

Установленная мощность электрооборудования:  $P_{уст} = 1,63$  кВт

Коэффициент спроса:  $K_c = 1,0$

Расчетная нагрузка:  $P_p = 1,63$  кВт

$\cos\varphi = 0,94$

Расчетный ток:  $I_p = 2,63$  А

- в режиме «пожар»:

Установленная мощность электрооборудования:  $P_{уст} = 2,33$  кВт

Коэффициент спроса:  $K_c = 1,0$

Расчетная нагрузка:  $P_p = 2,33$  кВт

$\cos\varphi = 0,95$

Расчетный ток:  $I_p = 3,73$  А

Все вышеперечисленное оборудование подключается к вводу распределительному устройству (ВРУ). Для панели ВРУ так же определяются параметры в двух режимах: нормальном и режиме «пожар». Для панели ВРУ детского сада:

Нормальный режим:

Установленная мощность электрооборудования:  $P_{уст} = 46,23$  кВт

«Коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников» [20]:  $K_{одн} = 0,85$

Расчетная нагрузка:  $P_p = 19,93$  кВт

$\cos\varphi = 0,94$

Расчетный ток:  $I_p = 32,21$  А

Режим «пожар»:

Установленная мощность электрооборудования:  $P_{уст} = 2,33$  кВт

«Коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников» [20]:  $K_{одн} = 1,0$

Расчетная нагрузка:  $P_p = 2,33$  кВт

$\cos\varphi = 0,95$

Расчетный ток:  $I_p = 3,73$  А

Вывод: в разделе определены структура системы питания и необходимые щиты для организации групповых сетей детского сада, а также ожидаемые электрические нагрузки силовых щитов, щитов рабочего, аварийного и наружного освещения, щитов систем противопожарной защиты и ВРУ здания.

## 5 Выбор электрооборудования и проводников

### 5.1 Выбор силовых кабелей

Как было определено ранее, для подключения детского сада принимается кабель марки АВБбШв – силовой бронированный лентами кабель, с алюминиевой жилой, изоляцией и защитным шлангом из ПВХ. Длина питающего кабеля с учетом заводки в подстанцию и ВРУ, и с запасом на свободное пролегание в грунте составляет 126 м. Предварительно выбираем кабель АВБбШв 4х50. Проверим его по условиям длительно-допустимой токовой нагрузки и потерям напряжения. «Длительно-допустимые токовые нагрузки в нормальном режиме работы при 100% коэффициенте нагрузки в воздухе – 117 А, на земле – 132 А» [5].

Определим потери напряжения в кабельной линии по формуле 3. Согласно РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей «значения предельных потерь напряжения в нормальном режиме в сетях 0,38 кВ (от ТП до вводов в здания) не более 4-6%» [14].

$$U\% = \frac{P L}{k S}, \quad (3)$$

где  $P$  – мощность присоединения, кВт;

$L$  – длина КЛ, м;

$k$  – коэффициент, зависящий от материала жилы, для алюминия принимается  $k=44$ ;

$S$  – сечение жилы, мм<sup>2</sup>.

Таким образом, потери напряжения в кабельной линии:

$$U\% = \frac{46,23 \cdot 126}{44 \cdot 50} = 2,65\%.$$

Выбранный кабель удовлетворяет условиям длительно-допустимой токовой нагрузки и проценту потерь напряжения, а значит годен к эксплуатации в качестве питающего кабеля.

Групповые сети выполняются кабелями ППГнг(А)-HF и ППГнг(А)-FRHF – «силовой огнестойкий кабель, с медными однопроволочными или многопроволочными токопроводящими жилами, в огнестойкой оболочке и обмотке из слюдосодержащих лент» [7]. Сечения кабелей определены и показаны в таблицах предыдущего раздела, это 3×2,5 для силовых щитов и 3×1,5 для щитов рабочего, аварийного, наружного освещения.

На силовые щиты приходят кабели ППГнг(А)-HF 5×4.

Сети питания наружного освещения выполняются кабелями ВВГнг(А)-LS – «кабель, с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ пониженной пожарной опасности» [6]. Сечения линий питания наружного освещения – 3×2,5.

## **5.2 Выбор розеток и выключателей**

Для установки в детском саду примем розетки и выключатели серии Blanca производства Schneider Electric. Розетки штепсельные 16 А, 250 В, с заземлением и шторками, отвечающие требованиям ПУЭ «Штепсельные розетки, устанавливаемые в квартирах, жилых комнатах общежитий, а также в помещениях для пребывания детей в детских учреждениях (садах, яслях, школах и т.п.), должны иметь защитное устройство, автоматически закрывающее гнезда штепсельной розетки при вынутой вилке» [12].

«Серия Blanca привлекает внимание современным дизайном и элегантными цветами. Изделия скрытой и открытой установки прекрасно впишутся в любой интерьер, одновременно обеспечивая безопасность» [9].

Технические преимущества серии Blanca:

- а) Безопасность и надежность

- «– Термостойкие материалы оснований розеток и выключателей обеспечивают дополнительную жесткость и долговечность конструкции;
- контактные группы розеток обеспечивают надежную фиксацию и контакт вилки;
- высококачественный износостойкий ABS-пластик гарантирует длительный срок эксплуатации изделий. » [4].

#### б) Простота и легкость монтажа

- «– Удобный подвод проводов;
- четкая маркировка клемм для безошибочного подключения;
- усиленные прямые лапки способствуют лучшей фиксации механизма по глубине в монтажной коробке, надежно удерживая изделия в стене;
- предварительная перфорация кабельных вводов упрощает подключение механизмов и способствует качественному монтажу кабель-каналов и проводов различного сечения. » [4].

#### в) Разнообразии функций

- «– Три типа основы изделий открытой установки – без пластин, с изолирующей пластиной, с монтажной пластиной – обеспечивают возможность установки в любом помещении;
- наличие в ассортименте Blanca заземляющего контакта и шторок позволяет выбрать именно те розетки, которые необходимы по требованиям безопасной эксплуатации. » [4].

#### г) Качественные материалы

- «– Качественные материалы оснований розеток и выключателей обеспечивают дополнительную жесткость и долговечность конструкции;
- контактные группы розеток обеспечивают надежную фиксацию и контакт со всеми типами вилок;
- травмобезопасный корпус механизмов;

- увеличенная площадь контактной поверхности гарантирует надежность и качество соединения, исключая потери;
- усиленные латунные пластины обеспечивают надежный контакт в цепи заземления» [4].

### 5.3 Выбор распределительных щитов

ЩС-1 собирается на базе щитков Practibox производства Legrand. «Встраиваемые щитки Practibox имеют ширину 6/8/12 модулей и до 3 рядов в высоту и могут поставляться с клеммными блоками в комплекте. Съемное шасси с DIN-рейками позволяет произвести монтаж модульного оборудования вне щитка» [13].

ЩС-2, ЩО-1 и ЩО-2 так же выполняется на базе щитков Practibox производства Legrand. Общий вид щитка приведен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Встраиваемый щиток Practibox

В качестве панели ПЭСПЗ примем щит управления и автоматики ЩУ-П-400-IP54 производства «НИКОМ» [10]. Стоит обратить внимание, что в отличие от силовых щитов, «панели ППУ имеют отличительную окраску

(красную), а корпус (оболочка) панели ППУ изготавливается в соответствии с ГОСТ 32127 и ГОСТ 10985» [10].

Корпус щита по конструкции цельнометаллический, настенного исполнения, с дверью, открывающейся наружу (щиты обслуживаются спереди), с нижним подводом силовых кабелей.

Внутри щита расположена металлическая монтажная панель (DIN-рейка) с установленными на ней автоматическими выключателями, контакторами, промежуточными реле, блоками контроля фаз, блоками реле и блоками зажимов - для подсоединения силовых и контрольных кабелей. На двери щита располагаются элементы местного управления (кнопки), переключатель режима работы и световая индикация. Общий вид щита ППУ показан на рисунке 10, а однолинейная схема на рисунке 11.



Рисунок 10 – Щит управления и автоматики ЩУ-П-400-IP54

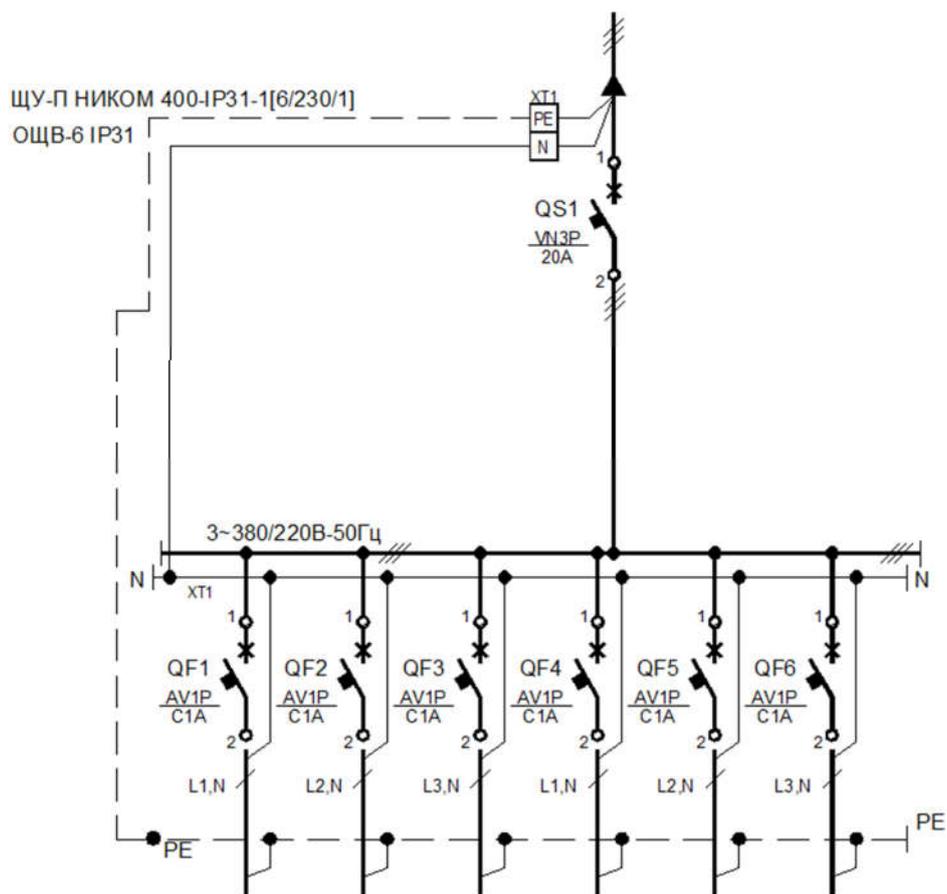


Рисунок 11 –ЩУ-П-400-IP54. Однолинейная схема

В здании детского сада устанавливается панель ВРУ 1-25-65А УХЛ4 IP31 ГОСТ Р 51321.1-2000 производства ИЕК. Панель собирается из двух составных частей: панели силовой и панели управления освещением ИЕК.

По ГОСТ Р 51732-2001 вводно-распределительное устройство ВРУ 1-25-65 УХЛ4 классифицируется:

- по виду установки – напольное;
- по классу защиты от поражения электрическим током – класс 1 по ГОСТР МЭК 536;
- по схеме ввода: вводно-распределительная панель;
- без блока автоматического включения резерва (АВР);
- с блоком автоматического управления освещением.

В панели ВРУ предусмотрен один ввод, 6 отходящих линий и автоматический блок управления освещением на 8 групп. Однолинейная



## 5.4 Выбор аппаратов защиты

Для защиты линий, отходящих от силовых щитов, щитов освещения, применены автоматические выключатели и дифференциальные автоматические выключатели с кривой отключения типа С серии Acti9 производства Schneider Electric. «Благодаря своим исключительным качествам, система Acti9 обеспечивает абсолютную безопасность и повышенную бесперебойность в работе. Acti9 позволяет полностью избавиться от забот по обеспечению надёжности и безопасности во время эксплуатации и при проведении технического обслуживания. Acti9 – наиболее гибкое, сбалансированное, универсальное и инновационное предложение среди существующих низковольтных модульных систем, адаптированное к самым сложным электросетям и тяжёлым условиям окружающей среды и остающееся рентабельным в течение всего срока службы» [8].

Установка дифференциальных автоматов согласно ПУЭ необходима:

- «– Для розеток общего назначения с номинальным током не более 20 А, предназначенных для использования обычными людьми, портативного оборудования с номинальным током не более 32 А, предназначенного для наружного использования.
- В ванных и душевых комнатах» [12].

Измеряя разность силы тока между проводником под напряжением и нулевым проводником, дифференциальный выключатель фактически обнаруживает ток, протекающий не по предусмотренной схемой нейтрали, в том числе через тело человека. Если этот ток достигает указанного на УЗО порога, дифференциальный выключатель нагрузки отключается в течение нескольких миллисекунд, предупреждая таким образом телесные повреждения или более тяжёлые последствия.

Для установки примем дифференциальные автоматические выключатели с защитой от сверхтоков (АВДТ) iDPN Vigi Acti9 и Модульные

автоматические выключатели (АВ) iC60 Acti9. «Дифференциальные выключатели АВДТ iDPN Vigі выполняют функцию защиты оборудования от токов перегрузки и короткого замыкания, а также от риска возникновения пожара и поражения человека электрическим током. В данной линейке вы найдете аппараты на токи до 40А. Модельный ряд двухполюсных АВДТ iDPN Vigі типов А, АС, А-Si позволяет применять их не только в офисах, но и в промышленности, энергетике. Уникальные функции АВДТ iDPN Vigі обеспечат полную безопасность при работе аппаратов и их обслуживания» [8].

Выбранное оборудование защиты отходящих линий групповых щитов объединим в таблицу 8.

Таблица 8 – Оборудование защиты отходящих линий групповых щитов

№ группы	ЩС-1	ЩС-2	ЩО-1	ЩО-2	ЩАО-1	ЩНО-1
1	2	3	4	5	6	7
Ввод	АВ iC60N C16	АВ iC60N C16	АВ iC60N C16	АВ iC60N C16	АВ iC60N C16	АВ iC60N C16
Гр. 1	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6
Гр. 2	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6			
Гр. 3	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6
Гр. 4	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6
Гр. 5	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6	–	АВ iC60N C6
Гр. 6	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6	–	АВ iC60N C6
Гр. 7	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВДТ iDPN Vigі C20-0,3	АВ iC60N C6	АВ iC60N C6	–	АВ iC60N C6

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7
Гр. 8	АВДТ iDPN Vigi C20-0,3	АВДТ iDPN Vigi C20-0,3	–	–	–	АВ iC60N С6
Гр. 9	АВДТ iDPN Vigi C20-0,3	АВДТ iDPN Vigi C20-0,3	–	–	–	–

На вводе ВРУ устанавливается рубильник с предохранителями. Для обеспечения селективности работы аппаратов защиты, на вводе устанавливаются рубильник ВР32 250А и предохранители ПН-2 250А. Для защиты отходящих присоединений так же применяются автоматические выключатели АЕ2056М-100-100А производства КЭАЗ. «АЕ2056М-100-100А-10In-400АС-У3-КЭАЗ – блочный автоматический 3 полюсный выключатель переменного тока с предельной коммутационной способностью при переменном токе 6 кА на номинальный ток 100 А» [1].

Вывод: в разделе выбраны проводники для внешних и внутренних сетей, основное оборудование: силовые и осветительные щиты, панель ПЭСПЗ и ВРУ, а так же защитные аппараты для отходящих присоединений.

## 6 Расчет токов коротких замыканий

«Короткое замыкание – всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек (фаз) электроустановки между собой или с землей, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима» [2]. Для мини-пекарни рассматриваются КЗ на стороне до 1000 В, поэтому расчеты будем вести в именованных единицах (МОм).

Выполним расчет точек до вводных автоматов групповых щитов, включая щит осветительный.

Точки КЗ расположены в наиболее характерных местах:

- на вводах в групповые щиты;
- на шинах ВРУ;
- на вводе в щит ВРУ.

Величины токов КЗ в данных точках позволяют проверить чувствительность аппаратов защиты (Кч), их предельную отключающую способность ( $I_{cu}$ ), а так же выполнить проверку на термическую, электродинамическую стойкость и проверку на возгорание кабель питающей сети. Таким образом отпадает необходимость проводить большой объём вычислений для проверки сети.

Составим расчетную схему, в которой отразим все элементы цепи и отметим точки КЗ. Покажем ее на рисунке 14.

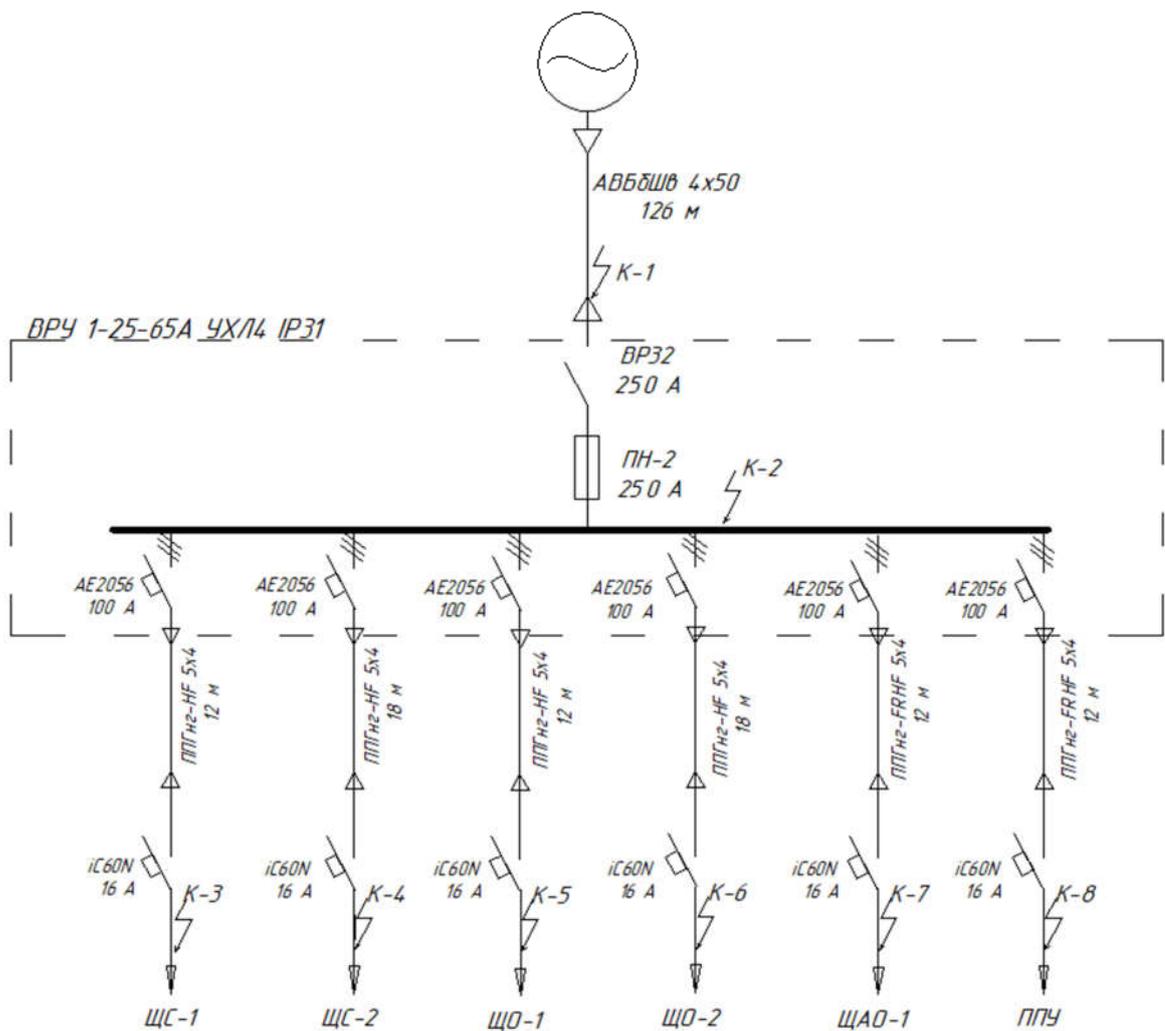


Рисунок 14 – Расчетная схема

Составим схему замещения и покажем ее на рисунке 15. «Схема замещения представляет собой вариант расчетной схемы, в которой все элементы заменены сопротивлениями, а магнитные связи – электрическими» [2].

Согласно ГОСТ 28249-93 «При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

- 1) индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- 2) активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;

3) активные сопротивления различных контактов и контактных соединений» [3].

Определим параметры элементов, входящих в схему замещения.

Эквивалентное индуктивное сопротивление системы  $x_c$  найдем по формуле 4:

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} I_{\text{откл.ном}} U_{\text{ср.ВН}}}, \quad (4)$$

где  $U_{\text{ср.НН}}$  – средненоминальное напряжение на стороне НН трансформатора;

$U_{\text{ср.ВН}}$  – средненоминальное напряжение на стороне ВН трансформатора

$I_{\text{откл.ном}}$  – номинальный ток защитного аппарата.

$$x_c = \frac{0,4^2}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10,5} = 22 \text{ мОм.}$$

Сопротивления кабельных линий:

$$r_{\text{кл1}} = l_{\text{кл1}} r_{0 \text{ кл1}}$$

$$x_{\text{кл1}} = l_{\text{кл1}} x_{0 \text{ кл1}}$$

где  $l_{\text{кл}}$  – длина кабельной линии, м

$r_{0\text{кл}}, x_{0\text{кл}}$  – погонное сопротивление, Ом/м.

Данные для сопротивлений рубильников ( $r_{QS}$ ), ступеней распределения ( $r_{cm1}, r_{cm2}$ ), автоматических выключателей ( $r_{кв}, x_{в}, r_{в}$ ) определяются по паспортным и справочным данным оборудования. Отразим значения сопротивлений на рисунке 15.

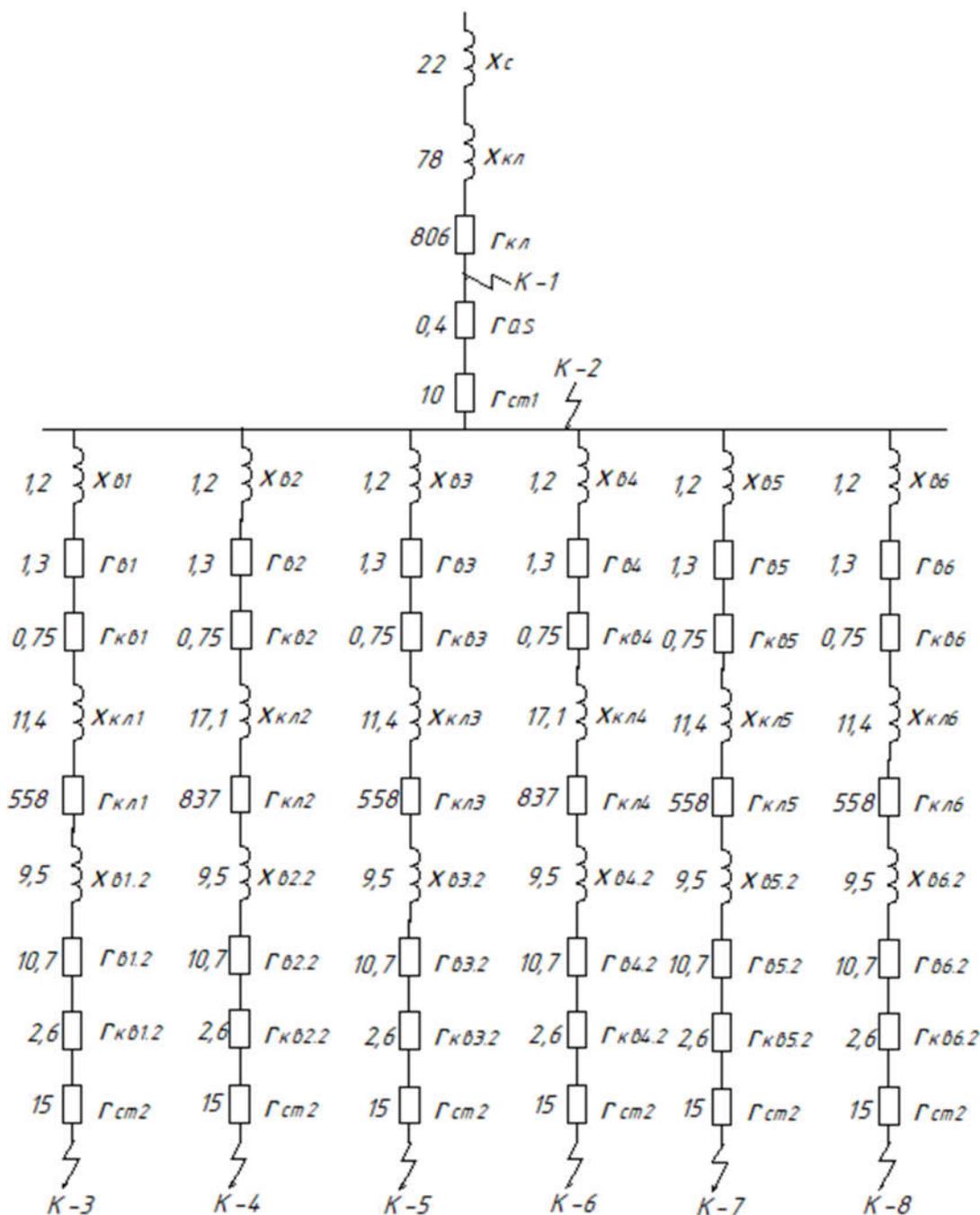


Рисунок 15 – Схема замещения

Далее, необходимо преобразовать схему замещения к простейшему виду, то есть к схеме, состоящей из одного активного и одного реактивного сопротивления. Для этого найдем суммарные сопротивления схемы до каждой из точек КЗ. Промежуточная схема замещения показана на рисунке 16.

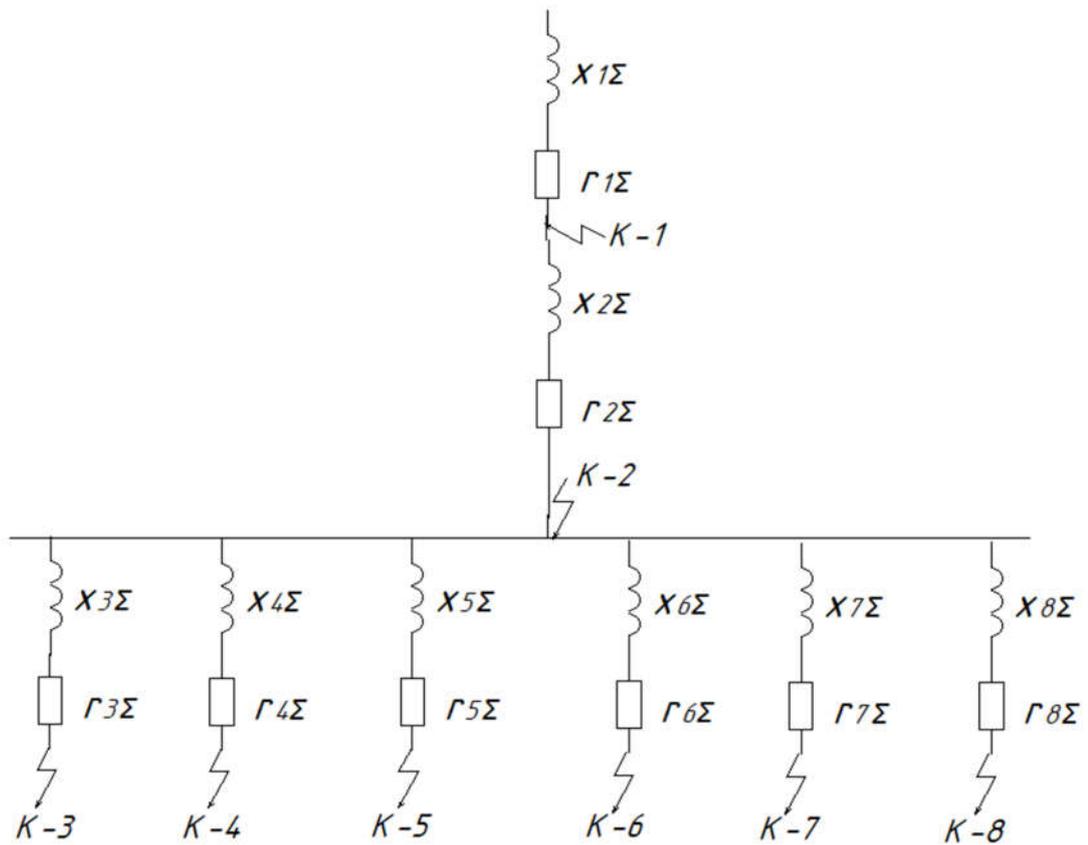


Рисунок 16 – Схема замещения после преобразования

Суммарные сопротивления до точек КЗ:

До точки К-1

$$r_{1\Sigma} = r_{\text{КЛ1}} = 806 \text{ мОм.}$$

$$x_{1\Sigma} = x_c + x_{\text{КЛ1}} = 22 + 78 = 90 \text{ мОм.}$$

До точки К-2

$$r_{2\Sigma} = r_{1\Sigma} + r_{\text{QS}} + r_{\text{ст1}} = 806 + 0,4 + 10 = 816,4 \text{ мОм.}$$

$$x_{2\Sigma} = x_{1\Sigma} = 90 \text{ мОм.}$$

До точки К-3

$$\begin{aligned}r_{3\Sigma} &= r_{B1} + r_{KB1} + r_{KL1} + r_{KB1.2} + r_{B1.2} + r_{CT2} = \\ &= 1,3 + 0,75 + 558 + 10,7 + 2,6 + 15 = 588,35 \text{ МОМ.} \\ x_{3\Sigma} &= x_{B1} + x_{KL1} + x_{B1.2} = 1,2 + 11,4 + 9,5 = 22,1 \text{ МОМ.}\end{aligned}$$

До точки К-4

$$\begin{aligned}r_{4\Sigma} &= r_{KB3} + r_{B3} + r_{KL3} + r_{KB3.2} + r_{B3.2} + r_{CT2} = \\ &= 1,3 + 0,75 + 837 + 10,7 + 2,6 + 15 = 867,35 \text{ МОМ.} \\ x_{4\Sigma} &= x_{B2.1} + x_{KL2.1} + x_{B2.2} = 1,2 + 17,1 + 9,5 = 27,8 \text{ МОМ.}\end{aligned}$$

До точки К-5

$$\begin{aligned}r_{5\Sigma} &= r_{B1} + r_{KB1} + r_{KL1} + r_{KB1.2} + r_{B1.2} + r_{CT2} = \\ &= 1,3 + 0,75 + 558 + 10,7 + 2,6 + 15 = 588,35 \text{ МОМ.} \\ x_{5\Sigma} &= x_{B1} + x_{KL1} + x_{B1.2} = 1,2 + 11,4 + 9,5 = 22,1 \text{ МОМ.}\end{aligned}$$

До точки К-6

$$\begin{aligned}r_{6\Sigma} &= r_{KB3} + r_{B3} + r_{KL3} + r_{KB3.2} + r_{B3.2} + r_{CT2} = \\ &= 1,3 + 0,75 + 837 + 10,7 + 2,6 + 15 = 867,35 \text{ МОМ.} \\ x_{6\Sigma} &= x_{B2.1} + x_{KL2.1} + x_{B2.2} = 1,2 + 17,1 + 9,5 = 27,8 \text{ МОМ.}\end{aligned}$$

До точки К-7

$$\begin{aligned}r_{7\Sigma} &= r_{B1} + r_{KB1} + r_{KL1} + r_{KB1.2} + r_{B1.2} + r_{CT2} = \\ &= 1,3 + 0,75 + 558 + 10,7 + 2,6 + 15 = 588,35 \text{ МОМ.} \\ x_{7\Sigma} &= x_{B1} + x_{KL1} + x_{B1.2} = 1,2 + 11,4 + 9,5 = 22,1 \text{ МОМ.}\end{aligned}$$

До точки К–8

$$\begin{aligned}r_{8\Sigma} &= r_{B1} + r_{KB1} + r_{KL1} + r_{KB1.2} + r_{B1.2} + r_{CT2} = \\ &= 1,3 + 0,75 + 558 + 10,7 + 2,6 + 15 = 588,35 \text{ мОм.} \\ x_{8\Sigma} &= x_{B1} + x_{KL1} + x_{B1.2} = 1,2 + 11,4 + 9,5 = 22,1 \text{ мОм.}\end{aligned}$$

Далее получим полное сопротивление для каждого участка согласно формуле 5:

$$Z_{K\Sigma} = \sqrt{r_{K\Sigma}^2 + x_{K\Sigma}^2}. \quad (5)$$

Полные сопротивления участков цепи сведем в таблицу 9.

Таблица 9 – Значение сопротивлений для участков цепи

Точка КЗ	$r_{K\Sigma}$ , мОм	$x_{K\Sigma}$ , мОм	$Z_{KL.i\Sigma}$ , мОм	$Z_{K\Sigma}$ , мОм
1	806	90	811,01	811,01
2	816,4	90	821,35	821,35
3	588,35	22,1	588,76	1410,11
4	867,35	27,8	867,80	1177,53
5	588,35	22,1	588,76	1456,56
6	867,35	27,8	867,80	1177,53
7	588,35	22,1	588,76	1456,56
8	588,35	22,1	588,76	1177,53

Конечная схема замещения, получившаяся после преобразования всех значений сопротивления в комплексное полное сопротивление ( $z$ ) показана на рисунке 17.

Данная схема позволяет произвести расчёт тока КЗ по формуле 6 для каждой точки.

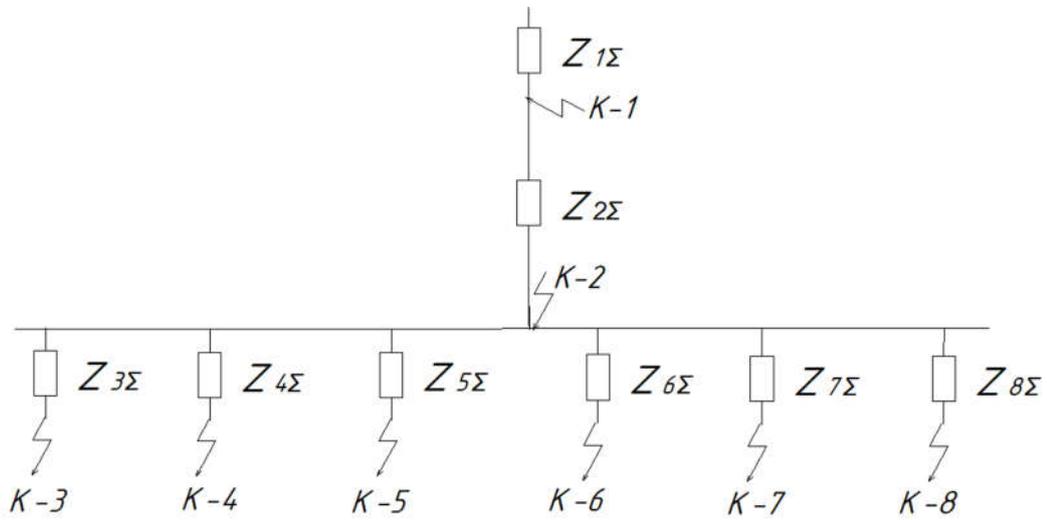


Рисунок 17 – Итоговая схема замещения

Ток трехфазного КЗ в рассматриваемых точках определим по формуле 6:

$$I_{Ki} = \frac{U_{H\text{HH}}}{\sqrt{3} Z_{K\Sigma}} \quad (6)$$

Ударный ток в рассматриваемых точках определим по формуле 7:

$$i_{yди} = \sqrt{2} k_{уд} I_{KMi}, \quad (7)$$

где  $k_{уд}$  – ударный коэффициент,  $k_{уд} = F(x_{K\Sigma}/r_{K\Sigma})$ , принимается по справочным таблицам.

Значения токов КЗ в рассматриваемых точках сведем в таблицу 10.

Таблица 10 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	$r_{K\Sigma}$ , МОм	$x_{K\Sigma}$ , МОм	$\frac{x_{K\Sigma}}{r_{K\Sigma}}$	$k_{уд}$	$Z_{K\Sigma}$ , МОм	$I_{Ki}$ , кА	$i_{yди}$ , кА
1	2	3	4	5	6	7	8
1	806	90	0,11	1	811,01	2,85	4,02
2	816,4	90	0,11	1	821,35	2,82	3,97

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8
3	588,35	22,1	0,04	1	1410,11	1,64	2,31
4	867,35	27,8	0,03	1	1062,56	2,18	3,07
5	588,35	22,1	0,04	1	1074,05	2,15	3,04
6	867,35	27,8	0,03	1	1601,38	1,44	2,04
7	588,35	22,1	0,04	1	1116,83	2,07	2,92
8	588,35	22,1	0,04	1	1734,26	1,33	1,88

Вывод: в разделе получены значения токов трехфазного металлического короткого замыкания, трехфазного дугового короткого замыкания, а также ударного тока короткого замыкания для различных точек схемы. Расчёт произведён для наиболее характерных точек, позволяющих оценить наибольшее и наименьшее значения токов КЗ. Полученные данные применим далее для проверки выбранного оборудования.

## 7 Проверка выбранного оборудования и проводников

Учитывая полученные в предыдущем пункте данные по величине токов КЗ, выполним проверку выбранного ранее оборудования.

Для питающего кабеля АВБбШв 4×50 допустимый ток односекундного короткого замыкания 3,38 кА, что меньше, чем значение ударного тока КЗ, значит, выбранный кабель подлежит замене на следующий по ряду сечений, это кабель АВБбШв 4×70, для него допустимый ток односекундного короткого замыкания составляет 4,95 кА, то есть выбранный кабель допустим при эксплуатации проектируемой сети. Вследствие замены кабелей увеличатся сопротивления до рассматриваемых ранее точек КЗ, а значит и снизятся токи КЗ.

Для выбранных автоматических выключателей iC60N C6, iC60N C16, AE2056M-100 номинальная отключающая способность составляет 20 кА и 6 кА соответственно, а значит они не нуждаются в замене.

Защиту ввода в ВРУ обеспечивают предохранители ПН-2 250 А с предельной коммутационной способностью 10 кА. Выключатель-разъединитель ВР32, который так же установлен на вводе в ВРУ имеет кратковременно-выдерживаемый ток в течении 1 с – 5 кА, что так же превышает значение самого большого рассчитанного тока КЗ.

Вывод: в ходе проверки выявлено, что ранее выбранные кабели не удовлетворяют требованиям безопасной эксплуатации и заменяются на кабели большего сечения. Выбранные автоматические выключатели прошли проверку и в замене не нуждаются.

## 8 Расчет заземления детского сада

### 8.1 Выбор системы заземления

«Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и так далее» [23].

Согласно ПУЭ, «питание электроприемников должно выполняться от сети 380/220 В с системой заземления TN-S или TN-C-S» [12]. Для рассматриваемого детского сада выберем систему TN-C-S.

Выбор системы заземления TN-C-S объясняется тем, что разделение PEN проводника обеспечивает большую безопасность, так как при использовании системы TN-C «обрыв провода PEN приводит к тому, что на нейтральном контакте розетки, заземляющем выводе и корпусе электрооборудования появляется напряжение сети» [27].

Система заземления TN-C-S имеет преимущество перед другими типами защитных заземлений. Она имеет простую конструкцию, которую легко смонтировать в любом здании. Эта работа имеет намного меньшую стоимость, чем монтаж схемы TN-S.

Недостатком этой системы является попадание высокого напряжения на корпус оборудования при повреждении провода PEN на участке между зданием и трансформатором. Для предотвращения таких ситуаций в соответствии с требованиями ПУЭ в качестве питающего кабеля применяется бронированный кабель марки АВБбШв.

Правила, по которым производится разделение, описаны в ПУЭ п.п.1.7 и 7.1:

«– схема должна быть смонтирована так, чтобы исключить отключение, в том числе аварийное, цепей PEN и PE;

- автоматические выключатели и рубильники, допускается устанавливать только в цепи нейтрали N;
- проводник PEN подключается к шине РЕ, или главной заземляющей шине ГЗШ, которая должна соединяться с нейтральной планкой;
- проводники РЕ и N после разделения не соединяются;
- нельзя использовать общую шину для нейтрали и заземления» [12].

## 8.2 Конфигурация и расчет заземляющего устройства

Заземляющее устройство представляет собой «единую систему горизонтальных и вертикальных заземлителей» [24], соединенных между собой. Сопротивление заземляющего устройства согласно справочным таблицам Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) «не должно превышать 10 Ом при удельном сопротивлении грунта не более 100 Ом м» [11].

В качестве горизонтальных заземлителей примем изделия из полосовой стали, сечением 5×40, вертикальные заземлители выполняются из стальных прутков круглого сечения диаметром 20 мм и длиной 5 м.

Сопротивление вертикального заземлителя определяется по формуле 8:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4' + l}{4' - l} \right), \quad (8)$$

где  $\rho_{\text{ЭКВ}}$  – эквивалентное удельное сопротивление грунта, определим по формуле 9,

$$\rho_{\text{ЭКВ}} = \rho \Psi, \quad (9)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта Ом·м,  $\rho = 80$  Ом·м;

$\Psi$  – повышающий коэффициент климатической зоны,  $\Psi = 1,8$ ;

$l$  – длина стержня, м;

$d$  – диаметр стержня, м;

$h'$  – расстояние от поверхности земли до середины стержня, м.

Сопротивление одного вертикального заземлителя равно:

$$R_B = \frac{144}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,02} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2} \right) = 30,39 \text{ Ом.}$$

Сопротивление горизонтального заземлителя найдем по формуле 10:

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{b}, \quad (10)$$

где  $b$  – ширина горизонтального заземлителя, м.

$$R_\Gamma = \frac{144}{2 \cdot 3,14 \cdot 6} \ln \frac{2 \cdot 5^2}{0,04 \cdot 0,5} = 30,01 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление заземляющего устройства, представляющего собой расположенные по вершинам равностороннего треугольника вертикальные заземлители, соединенные горизонтальными заземлителями определяется по формуле 11:

$$R_{\text{об}} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B \cdot \eta_B \cdot n + R_\Gamma \cdot \eta_\Gamma}, \quad (11)$$

где  $\eta_B$  – коэффициент спроса вертикального заземлителя;  $\eta_B = 0,85$

$\eta_\Gamma$  – коэффициент спроса вертикального заземлителя;  $\eta_\Gamma = 0,8$

$$R_{\text{об}} = \frac{30,39 \cdot 30,01}{30,39 \cdot 0,85 \cdot 3 + 30,01 \cdot 0,8} = 8,98 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом.}$$

Вывод: в разделе определен тип системы заземления детского сада, рассмотрены достоинства и недостатки выбранной системы, а также определена конфигурация заземляющего устройства.

## Заключение

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы произведен выбор параметров оптимальной схемы электроснабжения детского сада.

При проведении обследования объекта получена его характеристика, в которой отражены основные проблемы внутреннего электроснабжения.

Для получения варианта системы электроснабжения детского сада, отвечающей всем современным нормам и правилам, определено исполнение внешней и внутренней системы электроснабжения. Внешнее электроснабжение детского сада осуществляется от существующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ кабельной линией, внутреннее электроснабжение выполняется скрыто, кабели при этом замоноличены в строительных конструкциях или в металлорукаве, или трубах.

Далее выбраны светильники для всех типов освещения детского сада: внутреннего (рабочего), наружного, аварийного. К установке в групповых и игровых комнатах приняты светильники СДПО СТС 01-40-106 40 Вт и СВПО СТС 01-30-006 30 Вт IP54; в качестве светильников аварийного освещения применяются СДПО СТС 01-33-106 БАП и СВПО СТС 01-33-006 БАП со встроенными аккумуляторными блоками, а система наружного освещения выполнена на базе светильников «Тополь М» и «Каштан».

Проведен расчет ожидаемых электрических нагрузок и их распределение по групповым щитам. Кроме силовых щитов и щитов освещения, в расчет общей нагрузки включена панель питания электрооборудования систем противопожарной защиты (ПЭСФЗ).

По полученным в ходе расчета нагрузок данным выбрано основное оборудование и проводники для системы электроснабжения детского сада: силовые кабели, розетки и выключатели, распределительные щиты, аппараты защиты, панель ВРУ.

Для проверки выбранного оборудования выполнен расчет токов коротких замыканий до вводных автоматов групповых щитов.

В ходе проверки выявлено, что питающий кабель не удовлетворяет условиям по односекундному току КЗ и подлежит замене на следующий по ряду сечений. Вследствие замены кабелей увеличатся сопротивления до рассматриваемых ранее точек КЗ, а значит и снизятся токи КЗ. Аппараты защиты прошли проверку и годны к эксплуатации.

На заключительном этапе определен тип системы заземления детского сада, рассмотрены достоинства и недостатки выбранной системы, а также определена конфигурация заземляющего устройства.

В результате, получен вариант безопасной и надежной системы электроснабжения детского сада.

## Список используемых источников

1. Выключатель автоматический АЕ2056М-100-100А-10Ін-400АС-У3-КЭАЗ [Электронный ресурс] : КЭАЗ URL: <https://keaz.ru/catalog/product/104465> (дата обращения 26.02.2022).
2. ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения. Введ. 1986-07-01. М.: Стандартиформ, 2019. 19 с.
3. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. Введ. 1995-01-01 М.: Стандартиформ, 2019. 66 с.
4. Изделия Blanca [Электронный ресурс] : Schneider electric URL: <https://www.se.com/ru/ru/home/campaign/blanca/overview.jsp> (дата обращения 26.02.2022).
5. Кабель АВББШв 4х50 [Электронный ресурс] : Кабельная поисковая система URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/avbbshv](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/avbbshv) (дата обращения 15.01.2022).
6. Кабель ВВГнг-LS [Электронный ресурс] : Кабельная поисковая система URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvgng-ls/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvgng-ls/) (дата обращения 15.01.2022).
7. Кабель ППГнг-HF [Электронный ресурс] : Кабельная поисковая система URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/pozharobezopasnyie-kabeli/s-izolyacziej-iz-polimernyix-kompoziczij-\(066;-1kv\)/ppgng-hf/](https://k-ps.ru/spravochnik/pozharobezopasnyie-kabeli/s-izolyacziej-iz-polimernyix-kompoziczij-(066;-1kv)/ppgng-hf/) (дата обращения 16.01.2022).
8. Каталог модульного оборудования Acti9 Schneider Electric 2021 [Электронный ресурс] : Schneider electric URL: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=Каталог\\_Acti9\\_MKP-CAT-ACTI9+%281%29+%281%29.pdf&p\\_Doc\\_Ref=MKP-CAT-ACTI9-21\\_RU](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Каталог_Acti9_MKP-CAT-ACTI9+%281%29+%281%29.pdf&p_Doc_Ref=MKP-CAT-ACTI9-21_RU) (дата обращения 19.02.2022).
9. Каталог российских электроустановочных изделий 2022 (Версия 1.1) [Электронный ресурс] : Schneider electric URL: <https://download.schneider->

electric.com/files?p\_enDocType=Catalog&p\_File\_Name=Каталог+российских+э  
лектроустановочных+изделий+2022.pdf&p\_Doc\_Ref=МКР-САТ-WDRUS-  
2021 (дата обращения 19.02.2022).

10. Панели противопожарных устройств (ППУ) [Электронный ресурс] :  
НИКОМ URL:<https://www.nicom.su/data/development/2/6/1535556879.pdf> (дата  
обращения 16.12.2021).

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей  
М.: Омега-Л, 2019. 262 с.

12. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015.  
330 с.

13. Распределительные щитки PRACTIBOX [Электронный ресурс] :  
Legrand URL: [https://legrand.ru/for\\_consumers/products/elektricheskie-  
shchitki/shchitki-practibox/](https://legrand.ru/for_consumers/products/elektricheskie-shchitki/shchitki-practibox/) (дата обращения 16.01.2022).

14. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских  
электрических сетей [Электронный ресурс] : Электронный фонд правовых и  
нормативно-технических документов URL:  
<https://docs.cntd.ru/document/1200004921> (дата обращения 14.12.2021).

15. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к  
обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов  
среды обитания" [Электронный ресурс] : Постановление Главного  
государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. N 2 "Об  
утверждении санитарных правил и норм URL:  
<https://base.garant.ru/400274954/> (дата обращения 10.12.2021).

16. Светильник КАШТАН [Электронный ресурс] : энергосберегающие  
системы освещения URL: [https://ledeffect.ru/product/ulichное-  
osveshchenie/ledeffect-kashtan/led-effect-kashtan-54w/](https://ledeffect.ru/product/ulichное-osveshchenie/ledeffect-kashtan/led-effect-kashtan-54w/) (дата обращения  
16.02.2022).

17. Светильник ТОПОЛЬ М ДКУ [Электронный ресурс] :  
энергосберегающие системы освещения URL:

<https://ledeffect.ru/product/ulichnoe-osveshchenie/topol-m-dku/topol-m-dku-75-vt/>  
(дата обращения 16.02.2022).

18. СП 2.4.3648-20 Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи [Электронный ресурс] : Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.09.2020 N 28 URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_371594/a87d3709aa01857b67d2d04477b1d8458572e62e/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_371594/a87d3709aa01857b67d2d04477b1d8458572e62e/) (дата обращения 16.12.2021).

19. СП 252.1325800.2016 «Здания дошкольных образовательных организаций Правила проектирования». М.: Минстрой России, 2016. 75 с.

20. СП 256.1325800.2016 Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. М.: ЦНИИПромзданий, 2016. 78 с.

21. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс] : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 16.12.2021).

22. СП 6.13130.2021 Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности М.: ЦНИИПромзданий, 2021. 12 с.

23. Daza S.A. Electric Power System Fundamentals. London: Artech House, 2016. 388 p.

24. Electricity Handbook. Electrical Engineering Portal Protection [electronic resource] / URL: <http://elektricity/8599-solar-electricity-handbook> (date of the application 15.03.2022)

25. Guide to Energy Performance Contracting Best Practices [electronic resource] / URL: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/395076/guide\\_to\\_energy\\_performance\\_contracting\\_best\\_practices.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/395076/guide_to_energy_performance_contracting_best_practices.pdf) (date of the application 15.03.2022).

26. Nestor Duch-Brown Fiammetta Rossettia. Digital platforms across the European regional energy markets. *Journal of Cleaner Production*, 2020, Vol. 144, no. 111612.

27. Upadhyaya S., Mohanty S. Fast Methods for Power Quality. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*. Vol. 18. No. 5 2017.