

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 Реконструкция системы электроснабжения средней общеобразовательной школы  
№74 г. Тольятти

Обучающийся

Д.А Казаков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Терентьев

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

Консультант

к.ф.н., доцент О.В. Мурдускина

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

Тольятти 2023

## Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе осуществлена реконструкция системы электроснабжения средней общеобразовательной школы №74 г. Тольятти.

Объектом выступает средняя общеобразовательная школа №74 им. Героя Советского союза В.П. Кудашова. Объект расположен по адресу г.о Тольятти, Автозаводский район, улица Ворошилова д.21.

На основании обследования, проведенного в рамках реконструкции сделаны выводы о текущем состоянии системы электроснабжения объекта.

Пояснительная записка включает в себя расчет электрических нагрузок, проектирование системы внутреннего и внешнего освещения, выбор и проверка кабельной продукции, выбор электрощитового оборудования и аппаратов защиты, организация учета электроэнергии, расчет токов короткого замыкания и проверка оборудования на предельную отключающую способность, проектирование системы заземления и системы уравнивания потенциала.

Пояснительная записка содержит 80 страниц, включает в себя 22 рисунка, 16 таблиц и 42 формулы. Графическая часть представляет собой 6 чертежей формата А1.

## **Abstract**

The purpose of the graduation work is "reconstruction of the power supply system of the general secondary general educational school No. 74 of Togliatti.

The graduation work consists of an introduction, eight chapters, a conclusion, 16 tables, 22 pictures, a bibliography including foreign sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format. Amount an explanatory note on 80 pages.

The object is the secondary general educational school No. 74 named after him. Hero of the Soviet Union V.P. Kudashov. The object is located at the address of Togliatti, Avtozavodsky district, Voroshilov Street, 21.

The customer is the administration of school No. 74 together with the Ministry of Education and Science of the Samara region.

As part of the reconstruction, a survey of the state of the power supply system was conducted and a brief description of the object was given. The main problems and violations have been identified. The tasks performed during the reconstruction of the power supply system are set.

The calculation of electrical loads was carried out and, based on the data obtained, the distribution network and the group network were configured. Cables, protection devices and switchboard equipment have been selected. The calculation of short-circuit currents was carried out and the equipment was checked for the maximum switching capacity. Measures have been taken to organize grounding and equalize the potential. Brief theoretical information, pictures, diagrams and tables are provided for all calculations, as well as there are references to regulatory and technical documentation, technical and reference literature in the text.

## Содержание

Введение .....	6
1 Характеристика объекта ВКР .....	8
1.1 Общая характеристика объекта.....	8
1.2 Характеристика системы электроснабжения .....	9
1.3 Характеристика внутреннего освещения.....	16
1.4 Характеристика наружного освещения .....	17
1.5 Характеристика аварийного освещения .....	19
1.6 Задачи ВКР .....	20
2 Разработка системы внутреннего рабочего и аварийного освещения .....	22
2.1 Светотехнический расчет и выбор светильников системы рабочего освещения.....	22
2.2 Схема управления и электрический расчет системы рабочего освещения .....	28
2.3 Светотехнический расчет системы аварийного освещения .....	31
2.4 Схема управления и электрический расчет системы аварийного освещения.....	35
3 Разработка системы наружного освещения .....	37
3.1 Выбор светильников и светотехнический расчет системы наружного освещения.....	37
3.2 Схема управления и электрический расчёт системы наружного освещения.....	41
4 Расчет силовых нагрузок здания .....	43
5 Выбор кабельной продукции, щитового оборудования и аппаратов защиты. Организация учета электроэнергии.....	52
5.1 Выбор марки и сечения кабелей .....	52
5.2 Выбор щитового оборудования.....	58
5.3 Организация учёта электроэнергии .....	61
6 Расчет токов короткого замыкания .....	63

7 Проверка аппаратов защиты и кабелей на предельную отключающую способность .....	70
8 Мероприятия по организации заземления и уравниванию потенциала.....	71
8.1 Расчет заземляющего устройства.....	71
8.2 Система уравнивания потенциала и система заземления.....	74
Заключение .....	76
Список используемых источников.....	78

## Введение

Образование является важнейшей частью жизни каждого человека. Необходимость получать всё новые знания сопровождает человека всю жизнь. Благодаря знаниям каждый человек постигает мир, строит отношения, получает первый опыт. Образование составляет невероятно важный общественный институт. И главным местом получения знаний была и остается школа. Именно в школе каждый человек не только получается навыки и знания, но также начинает принимать образы поведения, проявляет свое мышление, формирует свои интересы и выбирает цель в дальнейшей жизни. Именно школа в основном формирует личность каждого.

Во времена советского союза к образованию относились очень внимательно. Постоянно строились новые школы, в которых обучали базовым наукам, а также готовили к получению среднего профессионального образования. Все школы имели большую материально-техническую базу, вследствие чего в школах стояли токарные и фрезерные станки, керамические круги, предназначенные для работы с глиной, швейные машинки для шитья и духовые шкафы.

После 93 года и вплоть до начала 00-хх многие школы, как и в целом сфера образования пребывали в упадке. Это произошло вследствие различных причин таких как: процессов оптимизирования, сокращения штата работников школы, недостаток финансирования. Это также отразилось на системе электроснабжения.

В наше время государство активно финансирует сферу образования, однако все равно многие школы требуют ремонта. По данным министерства просвещения на момент 2022 года из 68 тысяч школ располагающихся на территории РФ 49 тысяч школ (72%) требуют ремонта: модернизации и обновления учебной базы а около 7,300 школ (около 11%) находятся в аварийном состоянии и требуют немедленного ремонта [1].

Также технологии не стоят на месте, всё активнее происходит компьютеризация в сфере образования. В каждом классе появляются компьютеры и проекторы, создаются специальные помещения, оборудованные компьютерами. В базовую учебную программу вводят специальные предметы, которые обучают базовому использованию компьютера. Всё это создает большую нагрузку на систему электроснабжения, которая не была рассчитана к присоединению дополнительной нагрузки такой мощности. Это в свою очередь может привести, к постоянному нагреву кабелей и ухудшению электротехнических свойств кабеля: таких как деградация изоляции, и последствию возможности появления короткого замыкания и возгорания кабеля.

Также на территориях школ присутствуют различные спортивные площадки: футбольные и спортивные поля, дорожки для езды на велосипеде, места для пробежек. На этих объектах тренируются и обучаются не только обучающиеся школы, но также различные спортивные секции и обычные люди, живущие рядом. Поэтому очень важно иметь грамотно спроектированное наружное освещение, ведь это позволяет заниматься различными видами спорта не только в утреннее и дневное время, но и в вечернее время.

Поэтому реконструкция системы электроснабжения общего образовательного учреждения, является актуальным и необходимым проектом.

Цель данной выпускной квалификационной работы – реконструкция системы электроснабжения средней общеобразовательной школы №74.

## 1 Характеристика объекта ВКР

### 1.1 Общая характеристика объекта

Рассматриваемым объектом является МБУ «Школа №74» им. В. П. Кудашова. Располагается по адресу: Самарская область, г.о. Тольятти, Автозаводский район, 15 Квартал, Ул. Ворошилова д.21. Вид школы №74 со спутника изображен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Школа №74

Школа была построена 1 сентября 1987 года. Количество учеников – 1029 человек. Штат работников – 66 человек. Территория школы занимает 26477,9 кв.м. Из них застроено 3845,2 м<sup>2</sup>, озеленено, 13579,3 м<sup>2</sup>. Здание состоит из подвала, трех этажей и крыши. Присутствует спортзал, актовый



зал, столовая, музей. В некоторых подвальных помещениях, расположены различные спортивные секции, тир.

На территории школы присутствует футбольное поле с естественным газоном, хоккейное поле, детская горка, беговая дорожка. Возле ворот расположено здание для хранения хозяйственного инвентаря. Фотография территории школы приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Изображение территории школы

На территории школы присутствует большое количество деревьев.

## **1.2 Характеристика системы электроснабжения**

Данный объект питается от двухтрансформаторной подстанции №1506 10/0,4 кВ принадлежащей АО «Энергосбыт Плюс». Подстанция расположена на расстоянии 40 м от объекта. От ТП в Вводное распределительное устройство (далее ВРУ) приходит 4 кабеля: 2 кабеля АВВГ 3×185+1×70 от первой секции шин (ячейки №6) и 2 кабеля АВВГ 3×185+1×70 от второй секции шин (ячейки № 22). ВРУ представляет собой 4 щита, щит №1

является вводной панелью. В щите установлен рубильник для переключения на резервное питания, приборы учёта, установленные для основного и резервного ввода, предохранители серии ПН-2 с номинальным током 250 А. От вводного щита энергия распределяется по распределительным панелям №2, №3 и №4. Щит №2 питает аварийное освещение, систему противопожарной автоматики (ППА), освещение территории (питание отсутствует), кинопроекторскую, несколько распределительных шкафов. От щита №3 отходят линии, питающие внутреннее освещение в кабинетах и рекреациях, а также светильники, питающие спортивную площадку и хоккейное поле. Щит №4 питает распределительные щиты, а две отходящие линии, питающие технологическое оборудование пищеблока. Также в электрощитовой установлены контакторы, управляющие внешним освещением, а также щит управления тепловой завесой. В связи отсутствием внешнего освещения контакторы, управляющие внешним освещением, не используются. Распределительные щиты ВРУ изображены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Щиты ВРУ

Разводка кабелей силовых и осветительных установок от ВРУ к щитам осуществляется в подвале. Провода, находящиеся в подвале уложены в лотке. При подъёме по стояку все кабели прокладывают в трубах. В

рекреациях провода проложены скрыто в стенах. В кабинетах провода уложены в кабель-каналах.

В подвале установлены вентиляционные установки в количестве 8 штук. При беседе с ответственным за электрохозяйство данного объекта было установлено, что к сети подключены только 3 установки, остальные отключены в связи с выходом из строя. Электротехнические характеристики установок неизвестны.

Силовые щиты и щиты освещения, установленные в рекреациях, являются морально устаревшими и не отвечают требованиям электробезопасности. Большинство установленных щитов находится в неудовлетворительном состоянии, заземление устроено по системе TN-C, что не отвечает современным требованиям. Многие щиты не оборудованы замком, что является недопустимым, так как увеличивается риск попадания посторонних к электроприборам, что в свою очередь может привести к поражению электрическим током. Щит освещения №12 приведен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Состояние щита освещения №12

Состояние автоматических выключателей является неудовлетворительным. Большинство из них являются морально устаревшими и работают очень большой срок службы, что может привести к ухудшению отключающих свойств или даже повреждению корпуса устройства. Во многих щитах установлены еще советские автоматические выключатели, имеющие единую времятоковую характеристику  $12I_n$ . Такие приборы могут вовремя не отключить ток короткого замыкания, что в свою очередь может привести к серьезному повреждению оборудования, пожару и другим авариям. Решением данной проблемы будет установка новых автоматических выключателей с времятоковой характеристикой С.

В кабинетах к одному автоматическому выключателю подключена как силовая группа, так и осветительная группа, что не соответствует современным требованиям. Согласно СП 256.1325800.2016 пункт 9.1 «Присоединяемые к силовым распределительным пунктам, щитам и щиткам электроприемники рекомендуется объединять в группы с учетом их технологического назначения». Для решения данной проблемы необходимо разделить силовые и осветительные группы, подключить каждую группу к отдельному автоматическому выключателю.

Во многих помещениях, где в обычное время присутствуют дети, установлены розетки без специальных защитных шторок, которые преграждают доступ детям к токоведущим частям. Это является нарушением п.7.1.49 ПУЭ. Установленные в данный момент розетки представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Устаревшие розетки без защитных «шторок»

В кабинетах заземление устроено по системе TN-C, где нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены. Такой метод предусматривает четырехпроводную сеть с тремя фазами и нулевым проводом. Главным недостатком данной системы заземления является утеря защитных функций при обрыве провода N. Так как отдельный защитный проводник отсутствует, то розетка при подключении не защищена. ПУЭ пункт 7.1.13 предписывает при проектировании или капитальном ремонте объектов применять систему заземления TN-S или TN-C-S.

Собственный заземляющий контур у объекта не обнаружен.

В столовой установлен отдельный распределительный пункт, от которого энергия распределяется на электроприёмники. От сети 0,4 кВ питаются: духовые шкафы, плиты, мясорубки, установка для замеса теста, варочные установки, вытяжки. От сети 0,23 кВ питаются мармиты, холодильники, моноблочная холодильная установка, охлаждающая морозильная камера, а также розетки, к которым в свою очередь

подключаются чайники, весы и мультиварки. Щиты РП в пищеблоке изображены на рисунке 6.



Рисунок 6 – РП установленные в пищеблоке

В пищеблоке некоторые мясорубки подключены к устаревшим автоматическим выключателям и контакторам, служащим для управления. Устаревшие автоматические выключатели приведены на рисунке 7.



Рисунок 7 – Устаревшие коммутационные аппараты

Кабели, отходящие от РП, проложены в металлических трубах. От РП к автоматическим выключателям, установленным в пищеблоке, прокладка осуществляется скрыто по стенам. Кабели, проложенные от автоматов к приёмникам, открыто торчат из стены, что в свою очередь может привести к ухудшению электрических свойств изоляции кабеля и привести к удару током. Провода, проложенные на данный момент, приведены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Провода открыто торчат из стены

Пищеблок является опасным помещением с повышенным выделением влаги и повышенными температурами. Поэтому для защиты электроприёмников должны быть установлены дифференциальные автоматы с минимальным током утечки 10-30 мА. На данный момент установлены обыкновенные автоматические выключатели, не защищающие от токов утечки, в случае деградации изоляции электроприборов.

### 1.3 Характеристика внутреннего освещения

Как говорилось выше, внутреннее освещение питается от щита №3 ВРУ. Запитывается подвальное освещение, освещение основных кабинетов, рекреаций, а также аварийное освещение. Основными источником освещения, установленным в кабинетах и рекреациях школы, являются люминесцентные светильники. Состояние светильников неудовлетворительное: многие светильники являются устаревшими, отсутствуют специальные рассеиватели или в рассеивателях имеются трещины. Это может вызвать раскол рассеивателя и возможность опасной ситуации при разрушении колбы люминесцентной лампы, так как в ней находится пары ртути. Некоторые светильники являются не рабочими. Состояние светильников приведено на рисунках 9-10.



Рисунок 9 – Морально и технически устаревшие светильники





Рисунок 10 – Отсутствие рассеивателя на люминесцентном светильнике

Освещение подвальных помещений осуществлено лампами накаливания и люминесцентными светильниками. Отсутствует освещение в техническом подполье, а также подсобных помещениях. В подвале расположен тир освещение, которого является не удовлетворительным: отсутствуют лампы в местах бокового освещения. Основное освещение тира осуществляют два люминесцентных светильника. Светильники являются устаревшими. Состояние системы освещения в спортивном зале, а также в зале шейпинга является хорошим, так как год назад проводилась замена электрооборудования в данных и прилегающим к ним помещениям, поэтому и не требует реконструкции. Также в этот период времени в 20 кабинетах были установлены светодиодные светильники нового образца.

#### **1.4 Характеристика наружного освещения**

Наружное освещение представляет собой: освещение территории, фасадное освещение здания, а также освещение спортивных объектов. Наружное освещение получает питание от щита №3 ВРУ. Освещение территории отсутствует: все светильники были отключены от сети питания,

плафоны и лампы в них были демонтированы еще в 1990-х в связи с экономией электроэнергии. На рисунке 11 изображена опора освещения территории школы.



Рисунок 11 – Опора без светильника

Фасадное освещение здания школы представляет собой светильники, установленные на парапете кровли, что позволяет безопасно передвигаться вдоль стен здания. Также фасадное освещение выполняет роль охранного освещения. Управление фасадным освещением осуществляется с кнопки, находящейся на пульте охраны. На данный момент состояние фасадного освещения является удовлетворительным: светильники, установленные на заднем дворе школы, вышли из строя по причине износа лампы. Исправными являются два светильника установленные перед входом в школу.

Освещение спортивных объектов школы осуществлено лампами ДНаТ, установленными на железобетонных опорах типа СЦ. Во многих светильниках отсутствуют лампы. В 2015 году в связи с постройкой

футбольного поля были установлены дополнительные светильники, освещающие площадку. Также отсутствует лампы на светильниках, освещающих хоккейную площадку. Состояние лампы приведено на рисунке 12.



Рисунок 12 – Отсутствие лампы в светильниках

В 2023-2024 году планируется строительство площадки для волейбола, а также установка спортивной площадки, для которых потребуются предусмотреть освещение.

### **1.5 Характеристика аварийного освещения**

Аварийное освещение предназначено для применения при нарушении питания рабочего освещения. Аварийное освещение получает питание от своего собственного щита и должно обеспечить условия для продолжения работы или её безопасного завершения, организованного выхода из здания, если вышло из строя рабочее освещение [25]. К аварийному освещению устанавливаются высокие стандарты.

На объекте светильники аварийного освещения расположены вдоль рекреаций, возле основного и запасного выходов и пожарных лестниц. Светильники не отвечают требованиям ГОСТ ИЕС 60598-2-22. Многие из них являются морально устаревшими, или вышедшими из строя.

Питание щита аварийного освещения осуществляется от одного источника питания, а сами светильники не имеют никаких источников бесперебойного питания. Это является нарушением СП 439.1325800.2018. Согласно этому документу, аварийное освещение, должно относиться к первой категории: либо щит аварийного освещения должен иметь два не зависимых источника питания, либо светильники аварийного освещения должны быть оснащены источниками бесперебойного питания.

В административных, жилых и общественных зданиях требуется установка панели питания электрооборудования системы противопожарной защиты (далее ПЭСПЗ), которая должна иметь специальный красный цвет и табличку, запрещающую отключать данную панель, согласно пункту 5.10 СП 6.13130.2021. На объекте данная панель отсутствует.

Сети аварийного освещения выполнены не огнестойкими кабелями, что нарушает пункт 10.7 СП 256.1325800.2016. Это может привести, быстрому перегоранию кабеля при отключении и полном отключении освещения. Для решения данной проблемы сети питающие аварийное освещение необходимо выполнить специальными огнестойкими кабелями.

## **1.6 Задачи ВКР**

Проведено обследование системы электроснабжения средней общеобразовательной школы №74. В результате можно сделать вывод, что система находится в неудовлетворительном состоянии и требует реконструкции распределительной и групповой сети. Для этого необходимо решить следующие поставленные задачи:

- произвести расчет нагрузок с учетом дополнительного оборудования;
- произвести расчет внутреннего освещения;
- произвести расчет внешнего освещения;
- произвести расчет аварийного освещения;
- выбрать кабели и аппараты защиты;
- выбрать щитовое оборудование;
- выбрать новое оборудование распределительной сети;
- рассчитать токи короткого замыкания и проверить аппараты защиты на предельную отключающую способность;
- разработать систему заземления.

В 2024 году планируется капитальный ремонт школы, а также закупка большого количества компьютеров в классы информатики, установка нового станочного оборудования в мастерские, замена оборудования в пищеблоке.

Вывод по разделу: в связи с неудовлетворительным состоянием системы электроснабжения, а также планируемым увеличением потребляемой мощности вследствие увеличения количества электроприемников, требуется реконструкция системы электроснабжения средней общей образовательной школы № 74 г.о. Тольятти.

## **2 Разработка системы внутреннего рабочего и аварийного освещения**

### **2.1 Светотехнический расчет и выбор светильников системы рабочего освещения**

Внутреннее освещение здания состоит из рабочего и аварийного освещения. Грамотно спроектированное рабочее освещение позволит выполнять любые работы с наибольшим комфортом, с наименьшим вредом для зрения и позволяет лучше следить за процессом если идет речь о точной работе. Также в каждом строящемся или реконструированном здании является обязательным наличие системы аварийного освещения [17]. Быстро покинуть здание при чрезвычайных ситуациях возможно при наличии специально предназначенной осветительной системы, имеющей, резервные источники питания.

Расчет освещения будет выполнен при помощи программного комплекса «Dialux evo». Данная программа автоматически определяет оптимальные места установки светильников, рассчитывает освещенность, позволяет отслеживать более тонкие параметры освещения, такие как градация серого и баланс белого цвета. Расчет будет проводиться в четыре этапа.

На первом этапе выбирается помещение, на основе которого будет показан расчет. Расчеты по остальным помещениям будут выполнены аналогичным способом. В качестве примера будет выбран класс №105 (№ 28 на экспликации).

На втором этапе создаётся новый проект в программе «Dialux evo». Для этого необходимо переформатировать планировку здания в формат DWG, так как программа «Dialux evo» работает с чертежами формата DWG. Затем строится геометрия помещения: задаются параметры длины, ширины

высоты. После расставляются колонны и различные детали экстерьера. 3D модель класса приведена на рисунке 13.



Рисунок 13 – 3D модель класса №105

Третьим этапом проведем выбор светильников: сравним характеристики каждого и выберем самый оптимальный. Для сравнения были выбраны два светильника:

- AOT. OPL UNI LED 1200x200 4000K 32 Вт IP40 – производство компании «Световые технологии»;
- Saga PE L1200 33W 60/40 3900 PD 840 IP40 – производство компании «Aura Light».

Светильник от компании «Световые технологии» имеет более низкую цену в сравнении со своим аналогом, а также более доступен на рынке на данный момент.

Светильник АОТ. OPL UNI LED 1200x200 4000К предназначен для организации освещения в офисных и учебных заведениях, имеет мягкий рассеянный свет за счет опалового рассеивателя. Имеет цветовую температуру 4000К в следствии чего имеет холодный цвет свечения. Работает при номинальном напряжении 220 В и при промышленной частоте 50 Гц. Светильник имеет разрешительный документ, подтверждающий соответствие требованиям ТР ТС 020/2011, а также ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования» [11]. Светильник соответствует требованиям ГОСТ Р 56231-2014. Изображение светильника и вид его КСС приведен на рисунке 14.

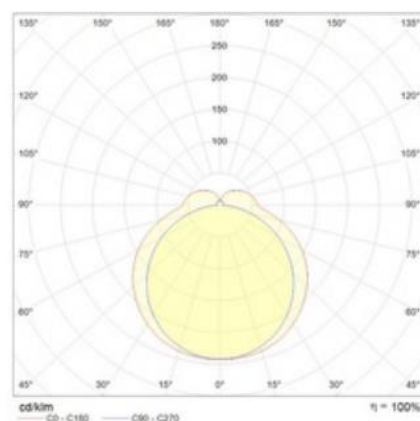


Рисунок 14 – Изображение светильника и КСС

На четвертом и последнем этапе выставляем в программе выбранный ранее светильник, выставляем требуемую освещенность, запускаем расчёт и выводим результаты. Согласно таблице Л.1 СП 52.13330.2016 средняя освещенность в кабинете должна быть не меньше 400 Лк. На рисунке 15 отображены изолинии и фиктивные цвета распределения света.



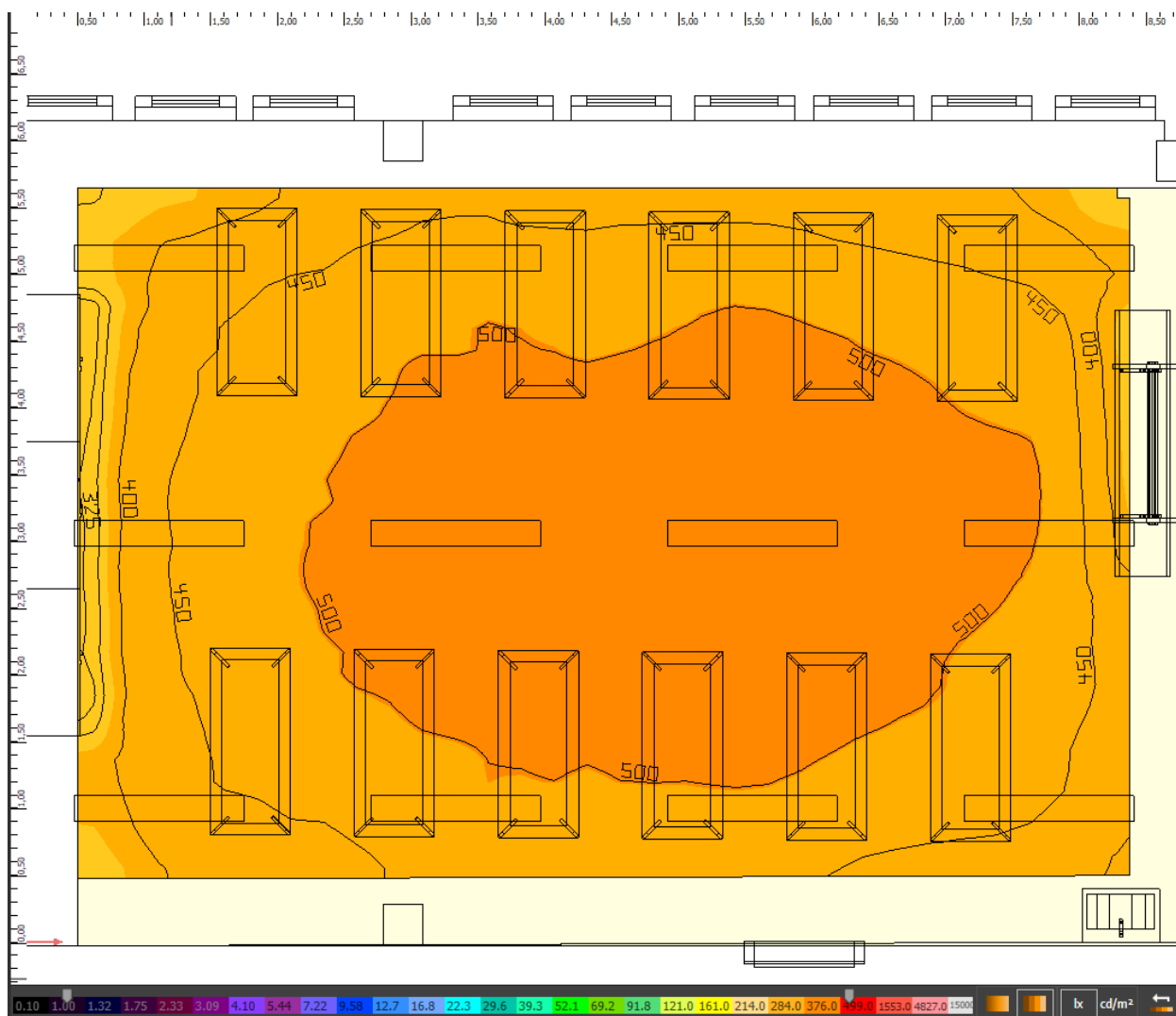


Рисунок 15 – Изолинии и фиктивные цвета распределения света

Итоговые результаты расчёта представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты светотехнического расчёта класса №105

Помещение	$E_{\text{ср}}$ , лк	$E_{\text{норм}}$ , лк	$E_{\text{мин}}$ , лк	$E_{\text{мах}}$ , лк	$E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$	$E_{\text{мин}}/E_{\text{мах}}$
Класс № 105	476	400	310	541	0,65	0,57

Расчёт освещённости остальных помещений выполнен аналогичным способом.

В связи с большим количеством однотипных помещений, для упрощения расчета принято решение о введении условных типов помещений. В таблице 2 приведена классификация типов помещений.

Таблица 2 – Классификация типов помещений

Тип помещения	Классификация помещения
I	Кабинет или класс, с одним установленным окном
II	Кабинет или класс, с двумя установленными окнами
III	Кабинет или класс, с тремя установленными окнами
IV	Кабинет или класс, с четырьмя установленными окнами
V	Влажные помещения и ПУИ
VI	Рекреации
VII	Коридоры
VIII	Подсобные помещения, теплоузлы, вент.камеры и технические подполья

Освещенность помещений, не попадающих под любой из типов, будет рассчитана в отдельном порядке. В ходе расчета оставшихся помещений также были применены светильники: CD-LED-18, ARS/S UNI LED 1200-30, OPTIMA ECO LED-30 и другие. Все полученные данные занесены в ведомость светотехнического расчета в таблице 3.

Таблица 3 – Данные светотехнического расчёта

№ Типа помещения	Площадь, м <sup>2</sup>	№ помещения по экспликации	Нормируемые значения		Расчетные значения		Соблюдение нормы
			Е <sub>норм</sub> , ЛК не менее	Е <sub>min</sub> /Е <sub>ср</sub> не менее	Е <sub>расч</sub> , ЛК	Е <sub>min</sub> /Е <sub>ср</sub>	
Подвал							
V	2,16-46,28	11а,11б,13,13а-13г,14б,14в	75	0,4	78	0,43	Соблюдено
VII	30,81-35,10	12б, 18	50	0,4	53	0,47	Соблюдено
VIII	4,38-518,40	1,2,3,4,5,6,7,11в,11г,12в,12г,14,14а,16,17,19,20,22,23,24,25	30	0,4	32	0,45	Соблюдено
1 Этаж							
I	18,14-56,18	29,32,63,71,72	400	0,4	412	0,54	Соблюдено
II	26,68-36,34	60,62	400	0,4	425	0,56	Соблюдено
III	54,88-57,27	26,27,28,69,70	400	0,4	476	0,65	Соблюдено
IV	73,72-76,17	31,58,59,67,68,73	400	0,4	454	0,61	Соблюдено
V	1,50-9,27	33-38,51-56	75	0,4	77	0,57	Соблюдено
VI	132,83-263,02	30,46,57,66	200	0,4	212	0,42	Соблюдено
2 Этаж							
I	17,32-19,29	39,42,44,46	400	0,4	412	0,54	Соблюдено
II	36,34-37,04	17,50	400	0,4	425	0,56	Соблюдено
III	54,27-57,27	12,13,14,16,25,26,27,29,30,31,47	400	0,4	476	0,65	Соблюдено
IV	73,70-95,07	38,45,49,51	400	0,4	454	0,61	Соблюдено
V	1,50-9,27	18-24,32-37	75	0,4	77	0,57	Соблюдено
VI	135,09-153,58	15,28,40,48	200	0,4	212	0,42	Соблюдено
3 Этаж							
I	17,24	34,35	400	0,4	412	0,54	Соблюдено
II	36,25-37,04	7,37,41	400	0,4	425	0,56	Соблюдено
III	54,32-57,27	1,2,3,4,6,15,16,17,19,20,21,33,36,38	400	0,4	476	0,65	Соблюдено
IV	73,29-74,90	28,32	400	0,4	454	0,61	Соблюдено
V	1,50-9,27	8-13,22-27	75	0,4	77	0,57	Соблюдено
VI	135,09-153,21	5,18,31,39	200	0,4	212	0,42	Соблюдено

Все полученные значения соответствуют нормам таблицы Л.1 СП 52.13330.2016.

## 2.2 Схема управления и электрический расчет системы рабочего освещения

Управление освещением кабинетов, и других помещений осуществляется при помощи одноклавишных и двухклавишных выключателей, установленных в этих же помещениях. Управление освещением рекреаций и коридоров осуществляется с выключателя, установленного на посту охраны. Схема управления освещением рекреаций представлена на рисунке 16.

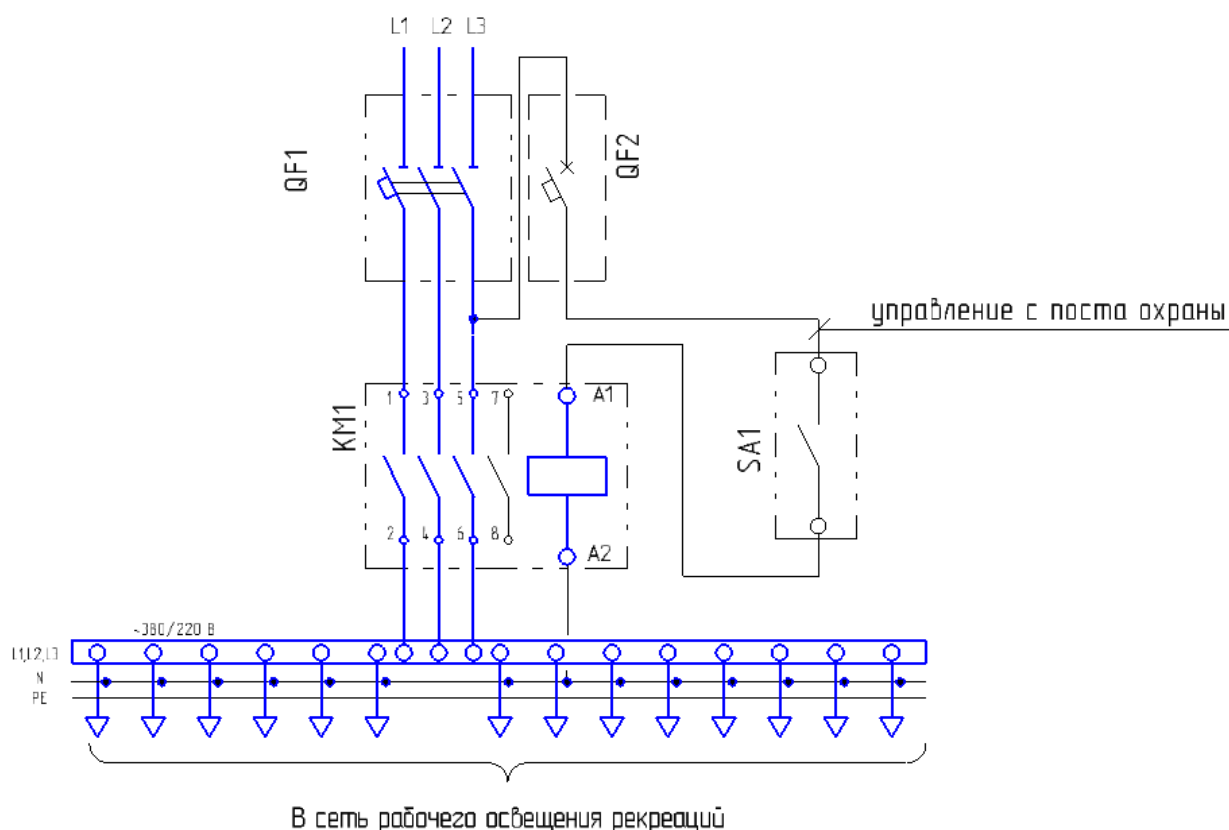


Рисунок 16 – Схема управления освещением в рекреациях

Управление включением и отключением рабочего освещения в рекреациях выполнено при помощи контактора КМ1. От автомата цепи управления идет контрольный кабель на выключатель SA1, находящийся на посту охраны. Выключатель SA1 воздействует на катушку контактора, после чего происходит замыкание силовых контактов, что и производит включение освещения в рекреациях. При необходимости включения или отключения отдельных рекреаций управление осуществляется автоматическим выключателем групповой сети в щите.

Произведем электрический расчёт внутреннего рабочего освещения. Расчёт проводится согласно методике, приведенной в СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» [16].

Установленная и расчетная мощность осветительной группы находится по формулам 1 и 2:

$$P_{уст.гр} = \sum_n^1 (P_{пасп.св} \cdot n_{св}), \quad (1)$$

$$P_{р.гр} = P_{уст.гр} \cdot K_C, \quad (2)$$

где  $P_{пасп}$  – паспортная мощность светильников, Вт;

$n_{св}$  – количество светильников в группе;

$K_C$  – коэффициент спроса.  $K_C$  равен 1,0 Согласно СП 256.1325800.2016 [16].

Установленная и расчетная мощность по щиту определяется по формулам 3 и 4:

$$P_{уст.щ} = \sum_1^n P_{уст.гр}, \quad (3)$$

$$P_{р.щ} = P_{уст.щ} \cdot K_C, \quad (4)$$

где  $K_C$  равен 0,9. Согласно таблице 7.6 СП 256.1325800.2016 [16].

Расчетный ток освещения по щиту определяется по формуле 5:

$$I_{p.щ} = \frac{P_{p.сп}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{св}}, \quad (5)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение трехфазной сети;

$\cos \varphi_{св}$  – коэффициент мощности светильников. Согласно паспортным данным светильника  $\cos \varphi_{св}$  равен 0,95.

Групповые щиты осуществляют совмещённое питание розеточной сети и сети освещения. Расчёт мощности по розеточной сети представлен в разделе 4. Полученные результаты сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Электрический расчет внутреннего освещения

Наименование	Количество групп освещения в щите	$P_{уст}$ , кВт	$P_p$ , кВт	$I_p$ , А
ЩС-1	7	2,66	2,40	3,65
ЩС-2	7	2,37	2,13	3,24
ЩС-3	7	4,17	3,75	5,7
ЩС-4	5	1,70	1,53	2,32
ЩС-5	5	3	2,7	4,1
ЩС-6	10	3,96	3,57	5,42
ЩС-7	10	3,83	3,45	5,24
ЩС-8	6	3,3	2,97	4,51
ЩС-9	6	2,43	2,19	3,33
ЩС-10	10	3,96	3,57	5,42
ЩС-11	9	3,12	2,81	4,27
ЩС-12	6	2,96	2,67	4,06
ЩС-13	11	4,00	3,6	5,47
ЩС-14	8	4,73	4,26	6,47
ЩО	15	6,07	5,46	8,3

При расчёте по щитам учтены светильники, заменённые в рамках текущего ремонта в период с 2012 по 2020 годы (20 помещений). Результаты расчета внутреннего освещения учтены при расчете силовых нагрузок здания.

### 2.3 Светотехнический расчет системы аварийного освещения

При проектировании системы аварийного освещения использованы модели светильников, которые применялись при проектировании общего рабочего освещения. На объекте аварийное освещение представляет собой эвакуационное освещение, предназначенное для быстрой эвакуации из здания при чрезвычайных ситуациях, а также антипаническое освещение, предназначенное для пресечения паники, и применяется в помещениях с площадью более 60 квадратных метров [6]. Аварийное освещение должно получать питание от отдельного щита и иметь I категорию электроснабжения.

Светотехнический расчет будет проводиться в программном комплексе «Dialux evo 8.2». Расчет будет показываться на примере класса №105 (№ 28 на экспликации). Так как помещение в программе уже построено и весь интерьер уже расставлен, приступим к выбору светильников.

Компания «Световые технологии» выпускает почти к каждой модели светильника версию с предустановленным блоком аварийного питания (БАП), что позволяет выполнить более однородное распределение освещенности при установке общего рабочего и аварийного освещения в одном помещении. Также существует возможность покупки и установки отдельного блока аварийного питания.

Для класса №105 используется светильник аварийного освещения АОР.ОPL UNI LED 1200x200 EM 4000K 32 Вт. Светильник имеет такой же вид, размеры и светотехнические характеристики, как и версия, применяемая для внутреннего рабочего освещения. После выбора светильников приступим к светотехническому расчёту.

Согласно ГОСТ Р 55842-2013 эвакуационное освещение для помещений и коридоров шириной больше двух метров значение минимальной освещенности на горизонтальной поверхности должно быть не меньше 1 лк, предельная равномерность освещения должна быть не более

40:1 [6]. Аварийное освещение должно включаться мгновенно и обеспечивать нормируемую освещенность в течении 10 секунд после отключения общего рабочего освещения [17]. При светотехническом расчете горизонтальная поверхность находится на уровне 0,0 м от уровня пола.

Для обеспечения необходимых параметров освещенности хватает одного аварийного светильника. Так как предусмотрено, что щит аварийного освещения будет оборудован автоматическим вводом резерва, то светильник выдает полный световой поток. Поэтому ведем расчет из того, что при нарушении питания рабочего освещения сначала сработает АВР. Для дополнительной надежности применены светильники с встроенным БАП. При переключении на блок аварийного питания светильник выдает только часть своего светового потока. На рисунке 17 изображено распределение света по помещению с изолиниями и фиктивными цветами.

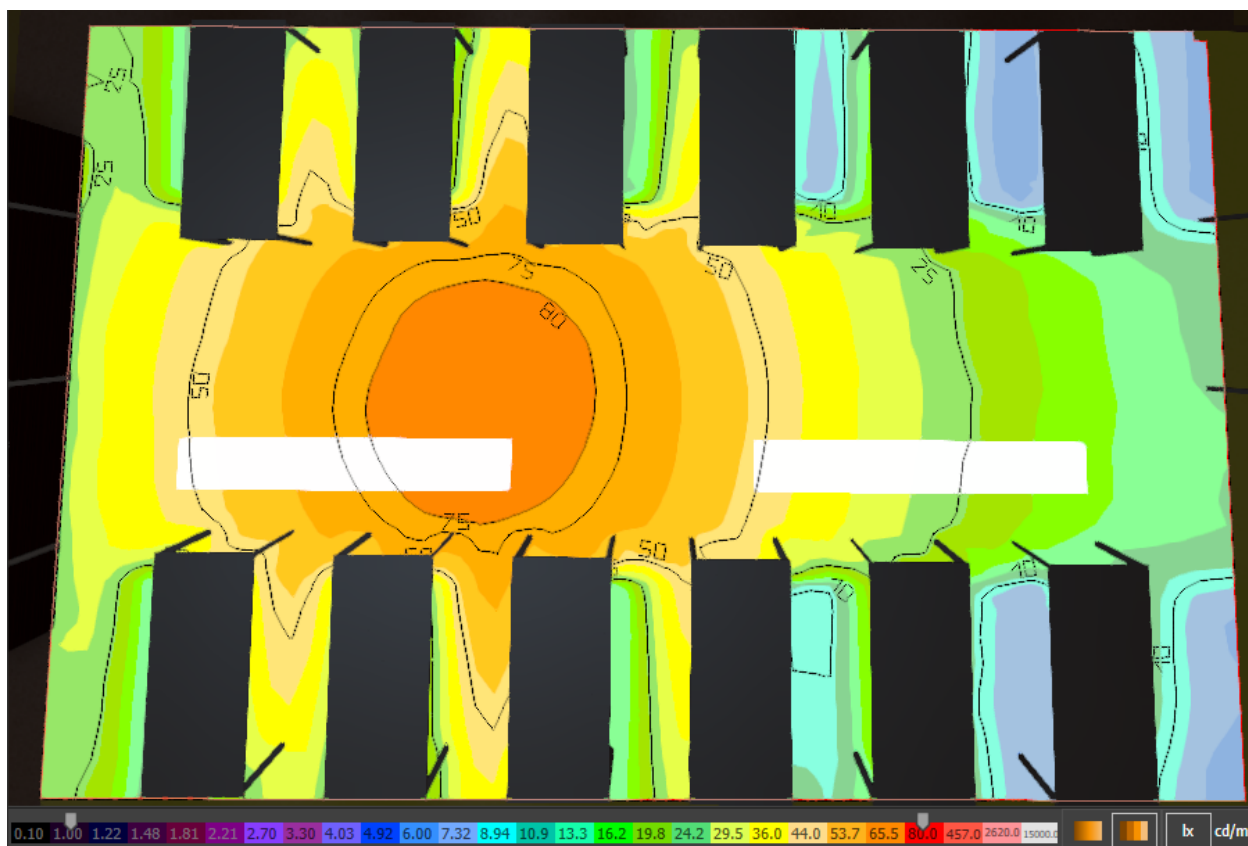


Рисунок 17 – Распределение света от аварийного светильника



Итоговые результаты расчёта представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Данные светотехнического расчета аварийного освещения по помещению №105

Помещение	$E_{\text{ср}}$ , лк	$E_{\text{норм.мин}}$ , лк	$E_{\text{мин}}$ , лк	$E_{\text{max}}$ , лк	$E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$	$E_{\text{max}}/E_{\text{мин}}$
Класс № 105	33,2	1,0	6,58	88,2	0,20	13,40

По результатам расчета видно, что минимальная освещенность равна 6,58 лк, предельная равномерность освещения равна 13,40:1. Можно с уверенностью утверждать, что условия по ГОСТ Р 55842-2013 соблюдены. Расчет других помещений проводится аналогично. Для упрощения расчета применим тот же метод с введением типов помещений, как и при расчёте внутреннего рабочего освещения. Освещенность помещений, не попадающих под любой из принятых типов, рассчитана в отдельном порядке. Полученные результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Данные светотехнического расчета аварийного освещения

№ Типа помещения	Площадь, м <sup>2</sup>	№ помещения по экспликации	Нормируемые значения		Расчетные значения	
			E <sub>min</sub> , ЛК не менее	E <sub>max</sub> /E <sub>min</sub> не более	E <sub>min</sub> , ЛК	E <sub>max</sub> /E <sub>min</sub>
Подвал						
V	2,73-46,28	11-11б,13-13г,14б,14в,	0,5	40/1	37,10	25,56/1
VII	8,47-35,10	12б,18	1,0	40/1	14,12	30,69/1
VIII	15,07-518,40	3,6,11в,24,25	0,5	40/1	17,19	37,31/1
1 Этаж						
I	18,14-56,18	29,32,63,71,72	1,0	40/1	31,4	11,80/1
II	26,68-36,34	60,62	1,0	40/1	35,75	12,25/1
III	54,88-57,27	26,27,28,69,70	1,0	40/1	33,2	13,40/1
IV	73,72-76,17	31,58,59,67,68,73	1,0	40/1	32,70	17,32/1
VI	132,83-263,02	30,46,57,66	1,0	40/1	35,60	9,35/1
VII	1,5,16,17,42,43	4,99-42,69	1,0	40/1	29,85	25,1/1
2 Этаж						
I	17,32-19,29	39,42,44,46	1,0	40/1	31,4	11,80/1
II	36,34-37,04	17,50	1,0	40/1	35,75	12,25/1
III	54,27-57,27	12,13,14,16,25,26,27,29,30,31,47	1,0	40/1	33,2	13,40/1
IV	73,70-95,07	38,45,49,51	1,0	40/1	32,70	17,32/1
VI	135,09-153,58	15,28,40,48	1,0	40/1	35,60	9,35/1
VII	1,3,4	4,12-86,01	1,0	40/1	29,85	25,1/1
3 Этаж						
I	17,24	34,35	1,0	40/1	31,4	11,80/1
II	36,25-37,04	7,37,41	1,0	40/1	35,75	12,25/1
III	54,32-57,27	1,2,3,4,6,15,16,17,19,20,21,33,36,38	1,0	40/1	33,2	13,40/1
IV	73,29-74,90	28,32	1,0	40/1	32,70	17,32/1
VI	135,09-153,21	5,18,31,39	1,0	40/1	35,60	9,35/1

Полученные значения соответствуют установленным нормам ГОСТ Р 55842-2013.

## 2.4 Схема управления и электрический расчет системы аварийного освещения

Схема управления аварийным освещением выполнена при помощи контакторов IEK KM20-20 2р 20А 2НО. Включение и отключение аварийного освещения при помощи выключателя находящемся на посту охраны. При возникновении пожара предусмотрено автоматическое включение аварийного освещения в независимости от положения выключателя на посту охраны при помощи сигнально-пускового блока С2000-СП1. В при возникновении сигнала «Пожар» блок СП1 переключает питание схемы напрямую в обход выключателя. Для управления светильниками контактор управляет жилой кабеля, которая подключает коммутируемую фазу. Некоммутируемая фаза подключена напрямую от автоматического выключателя соответствующей группы в обход контактора. При отсутствии напряжения на не коммутируемой фазе светильники переходят на работу от БАП.

Выполним электрический расчёт системы аварийного освещения. Расчет по группам выполним по формулам 1,2. Расчет по щиту выполним по формулам 3,4. Используем для расчёта мощности по щиту коэффициент спроса равный 1 согласно пункту 7.2.2 СП 256.1325800.2016. Расчетный ток определяется по формуле 5. Полученные данные сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Электрический расчет аварийного освещения

№ группы	$P_{уст}, \text{кВт}$	$P_p, \text{кВт}$	$I_p, \text{А}$
Группа №1	0,57	0,57	2,61
Группа №2	0,46	0,46	2,11
Группа №3	0,57	0,57	2,61
Группа №4	0,41	0,41	1,88
Группа №5	0,52	0,52	2,38
Группа №6	1,22	1,22	5,58

Продолжение таблицы 7

Группа №7	0,41	0,41	1,88
Группа №8	0,35	0,35	1,60
Группа №9	0,35	0,35	1,60
Группа №10	0,872	0,872	3,99
Группа №11	0,03	0,03	0,15
Итого по ЩАО	5,76	5,76	8,75

Вывод по разделу: в процессе проектирования системы общего рабочего освещения были выбраны светильники отечественной марки «Световые технологии». Проведен светотехнический расчет общего рабочего и аварийного освещения согласно нормативным документам, регламентирующим требуемые характеристики освещённости.

В ходе электрического расчета была рассчитана мощность осветительных установок внутреннего рабочего и аварийного освещения. Полученные мощности будут учтены при расчете электрических нагрузок здания.

### **3 Разработка системы наружного освещения**

#### **3.1 Выбор светильников и светотехнический расчет системы наружного освещения**

При обследовании наружного освещения объекта обнаружено несколько основных проблем:

- Отсутствие архитектурного освещения местности, что превращает красивую ухоженную территорию в мрачное непривлекательное место.
- Отсутствие освещения спортивных объектов лишает возможность большое количество людей возможности заниматься спортом в вечернее время или создает возможность травмирования человека. Также это может лишить потенциальных арендаторов таких как небольшие спортивные секции, которые не имеют финансовой возможности арендовать отдельные большие объекты и поэтому они арендуют у школ их спортивные объекты.
- Выход из строя большего числа светильников фасадного освещения уменьшает видимость камер видеонаблюдения непосредственно вдоль стен здания. Что снижает возможность использования фасадного освещения в качестве охранного, а также ухудшает общий вид здания со стороны.

Принято решение о полной реконструкции системы наружного освещения: установке светильников архитектурного освещения, установке светильников для освещения спортивных объектов, полной замене всех светильников фасадного освещения, вышедших из строя.

Основными светильниками, применяющимися для наружного освещения, являются ДНаТ, ДРЛ и светодиодные. Светодиодные светильники по сравнению с газоразрядными обладают более высоким диапазоном цветовой температуры в порядке от 3000 до 9000 К, имеют более высокий

ресурс работы, не содержат ртутные пары тем самым являются безопасными и не требуют специальных мероприятий по их утилизации.

Внешний вид светильника освещения территории выбирался по согласованию с заказчиком. Для освещения территории выбран светильник компании «Волжский светотехнический завод Луч» HALO 1R1 20 CW O IP65 [12]. Светильник устанавливается на опору черного цвета высотой 3м. Внешний вид и вид его КСС изображен на рисунке 18.

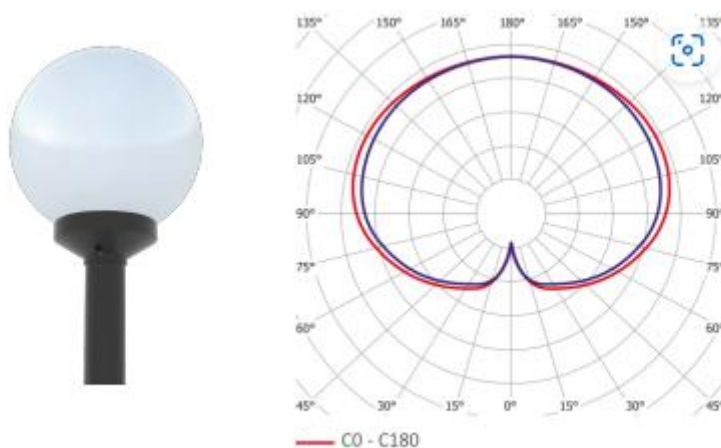


Рисунок 18 – Внешний вид и КСС светильника 1R1 20 CW O IP65

Требуется повысить освещенность вдоль дорожек и придать эстетичности ухоженной территории школы.

Для освещения спортивных объектов выбран светильник ТИТАН-2 С STR4. Для освещения хоккейной площадки, тренажерной площадки, футбольной площадки выбирается модель с мощностью 250 Вт, для и волейбольной площадки выбирается модель с мощностью 150 Вт. Внешний вид и вид КСС светильника изображен на рисунке 19.



Рисунок 19 – Внешний вид и КСС светильника ТИТАН-2 С STR4

Светильники предназначены для хоккейной площадки будут монтированы на существующих опорах. Для футбольной и тренажерной площадки светильники будут устанавливаться на опорах ОГКЛф-8 [10]. Для волейбольной площадки будут светильники будут устанавливаться на опоры ОГКЛф-6 [10]. Также требуется к опорам приобрести кронштейн К2К-1.0-1.0-К80-0.048-(15-180).

Для охранного освещения выбран светильник ТИТАН 2 STR5. Применены модели с мощностью 35,85 и 150 Вт. Светильники монтируются на кронштейн NSB-01-0-350, который устанавливается на кровлю. Внешний вид и вид КСС светильника изображен на рисунке 20.



Рисунок 20 – Внешний вид и КСС светильника ТИТАН-2 STR5

Освещение крыльца парадного и запасного входов осуществлено уже установленными светильниками BASE 25. Так как светильники имеют хорошее состояние их замена является не целесообразной. Светильники подключены к одной группе со светильниками охранного освещения.

Для светотехнического расчета применён программный комплекс «Dialux evo». Согласно пункту 7.5.4.1 СП 52.13330.2016 освещение проектируется исходя из двух параметров: средней освещенности помещения и равномерности распределения света по поверхности. Для территории объекта примем требуемые параметры освещённости согласно таблице 7.21 СП 52.13330.2016.

Параметры светотехнического расчёта освещения территории приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры светотехнического расчета освещения территории

Светотехнические параметры	$E_{ср}$ , лк, не менее	$E_0$ , не менее
Расчетные значения	6,0	0,20
Нормируемые значения согласно СП 52.13330.2016	10,76	0,36
Соблюдение требуемых норм	Нормируемые значения соблюдены	Нормируемые значения соблюдены

Светотехнический расчет для спортивных объектов ведётся согласно СП 440.1325800.2018. Спортивные объекты имеют III класс освещения. Значения соответствуют таблице 5.4 [18]. Параметры светотехнического расчёта освещения спортивных объектов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры светотехнического расчета освещения спортивных объектов

Светотехнические параметры	$E_{ср}$ , лк	$E_0$
Хоккейная площадка		
Расчетные значения	202	0,51
Нормируемые значения согласно СП 440.1325800.2018	200	0,5
Соблюдение требуемых норм	Соблюдено	Соблюдено
Футбольная площадка		
Расчетные значения	86,2	0,59



Продолжение таблицы 9

Светотехнические параметры	$E_{ср}$ , лк	$E_0$
Нормируемые значения согласно СП 440.1325800.2018	75	0,5
Соблюдение требуемых норм	Соблюдено	Соблюдено
Волейбольная площадка		
Расчетные значения	76,8	0,72
Нормируемые значения согласно СП 52.13330.2016	75	0,5
Соблюдение требуемых норм	Соблюдено	Соблюдено

Согласно п.7.8.1 СП 52.13330 средняя освещенность охранного освещения  $E_{ср}$  должна быть не меньше 0,5 лк, коэффициент равномерности  $E_0$  не менее 0,5 [19]. Параметры светотехнического расчёта охранного освещения приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Параметры светотехнического расчета охранного освещения

Светотехнические параметры	$E_{ср}$ , лк	$E_0$
Расчетные значения	12	0,35
Нормируемые значения согласно СП 52.13330.2016	0,5	Не нормируется
Соблюдение требуемых норм	Соблюдено	Соблюдено

Данные светотехнического расчета освещения соответствуют всем нормируемым документам.

### 3.2 Схема управления и электрический расчёт системы наружного освещения

Наружное освещение получает питание от собственного щита ЩУО, установленного в электрощитовой.

Управление освещением территории и охранном освещением осуществлено по времени и естественной освещенности. Управление по времени выполнено на базе таймера ИЕК ТЭ15 16А 230V. Управление по уровню естественной освещенности выполнено на базе фотореле ИЕК ФР

602, установленного на кровле школы. Также предусмотрена возможность перевода освещения в ручной режим работы и управления с поста охраны при помощи выключателя. Управление освещением спортивных объектов выполняется с поста охраны. Для каждого объекта предусмотрен свой выключатель. Все переключения между режимами управления осуществляются переключателями, находящимися на дверце щита.

Электрический расчет системы наружного освещения проводится согласно СП 256.1325800.2016.

Установленная и расчетная мощность по группам определяется по формуле 1 и 2. Установленная и расчетная мощность по группам определяется по формуле 3 и 4. Расчетный ток определяется по формуле 5. Ведомость электрического расчета наружного освещения приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Ведомость электрического расчета наружного освещения

Наименование	Количество групп	$P_{уст}$ , кВт	$P_p$ , кВт	$I_p$ , А
ЩУО	6	11,04	11,04	16,77

Результаты расчета мощности наружного освещения будут учтены при расчете силовых нагрузок здания.

Вывод по разделу: в ходе реконструкции наружного освещения были выбраны светодиодные светильники компании «Волжский светотехнический завод Луч».

В ходе светотехнического расчёта определена средняя освещенность и коэффициент неравномерности освещаемых объектов. Все светотехнические параметры соответствуют нормам СП 52.13330.2016 и СП 440.1325800.2018.

В ходе электрического расчета определена расчетная мощность щита ЩУО.

#### 4 Расчет силовых нагрузок здания

Расчет силовых нагрузок здания позволяет определить полную картину потребления электроэнергии объекта [28]. От расчета силовых нагрузок зависит все остальные этапы проектирования электроснабжения, такие как выбор проводников и аппаратов защиты.

Тип, количество мощность и расположение электроприёмников выбраны в соответствии с заданием инженера-технолога.

Расчет ведется по методике, приведенной в разделе 7.2 СП 256.1325800.2016 «Нагрузки общественных зданий».

Расчёт электрических нагрузок линий, питающих силовые щиты, определяется по формуле 6:

$$P_{p.p} = K_{cp} \cdot (P_{уст.p} \cdot n_1 + P_{уст.ком} \cdot n_2 + P_{уст.конд} \cdot n_3) + P_{p.осв}, \quad (6)$$

Где  $K_{cp}$  – расчетный коэффициент спроса, принимаемый по таблице 7.7 СП 256.1325800.2016;

$P_{у.p}$  – установленная мощность розетки, принимаемая 0,06 кВт (в том числе для подключения оргтехники);

$n_1$  – число розеток;

$P_{уст.ком}$  – установленная мощность компьютера, взята из задания технолога;

$n_2$  – число компьютеров;

$P_{уст.конд}$  – установленная мощность кондиционера, взята из задания технолога;

$n_3$  – число кондиционеров;

$P_{p.осв}$  – расчетная мощность светильников (смотри пункт 2.2).

Расчет силовых нагрузок инженерных сетей проводится согласно формулам 7 и 8:

$$P_{p.в} = K_c \cdot \sum_i^n P_{уст.вытяжн}, \quad (7)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса;

$P_{уст.вытяжн}$  - установочная мощность вытяжного вентилятора, мощность электроустановки взята из задания инженера ОВ.

$$P_{p.п} = K_c \cdot \sum_i^n P_{уст.приточн}, \quad (8)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса;

$P_{уст.приточн}$  - установочная мощность приточной вентиляционной установки, мощность электроустановки взята из задания инженера ОВ.

Электроустановки приточной и вытяжной вентиляции получают питание от отдельных щитов, и их установленная мощность должна суммироваться отдельно [24].

Электрическая мощность технологического оборудования пищеблока определяется по формуле 9:

$$P_{p.Т.О.П.Б} = K_c \cdot \sum_i^{n=1} P_{уст.Т.О.П.Б}, \quad (9)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса;

$P_{уст.Т.О.П.Б}$  - установленная мощность технологического оборудования пищеблока, мощность электроустановок взята из задания инженера-технолога.

Пищеблок получает питание от двух силовых распределительных пунктов, установленных в пищеблоке. Разводка кабелей осуществляется в подвале, затем в точке подключения происходит подъем на необходимую высоту.

В мастерских располагаются электрические станки и другое технологическое оборудование. Электроснабжение оборудования мастерских осуществляется от силовых распределительных пунктов установленных непосредственно, в мастерских и получающих питание отдельно от силовых щитов (ЩС), расположенных в коридорах. Расчет мощности технологического оборудования мастерских выполнен согласно формуле 10:

$$P_{p.T.O.M} = K_c \cdot \sum_i^{n=1} P_{уст.T.O.M} , \quad (10)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса;

$P_{уст.T.O.M}$  - установленная мощность технологического оборудования мастерских, мощность электроустановок взята из задания инженера технолога.

В расчет силовой нагрузки здания помимо силовых щитов и силовых распределительных пунктов (СРП), обязательно включается и расчет мощности электроустановок систем противопожарной безопасности. В каждой строящимся или реконструированном здании необходимо предусмотреть средства противопожарной защиты, такие как: система дымоудаления, система оповещения об эвакуации, эвакуационное и антипаническое освещение, система автоматического пожаротушения. Системы противопожарной защиты должны получать питание от специальной панели электрооборудования систем противопожарной защиты (ПЭСПЗ). Панель ПЭСПЗ представляет собой «распределительную панель в составе многопанельного низковольтного комплектного устройства, присоединяемую 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,

комплектующий встроенным автоматическим вводом резерва» [20]. Согласно пункту 5.1 СП 6.13130.2021 панель ПЭСПЗ представляет собой красный металлический шкаф навесного исполнения, с предупреждающей табличкой «не отключать».

К панели ПЭСПЗ подключается следующая нагрузка:

- Щит аварийного освещения –  $P_{уст}$  равна 5,762 кВт;
- Щит дымоудаления –  $P_{уст}$  равна 14,8 кВт;
- Щит автоматической пожарной сигнализации (ЩАПС) –  $P_{уст}$  равна 0,75 кВт;
- Система контроля и управления доступом (СКУД), а также системы видеонаблюдения –  $P_{уст}$  равна 0,84 кВт;
- Шкаф управления огнезадерживающими клапанами (ШУОК) –  $P_{уст}$  равна 1,2 кВт.

Расчет электрических нагрузок панели ПЭСПЗ проводится для двух режимов работы: в номинальном режиме и в режиме «пожар». В номинальном режиме работает щит аварийного освещения, а также видеонаблюдение и система СКУД. При режиме работы «пожар» производится включение всех систем подключенных к панели ПЭСПЗ. Щит ЩАО, система видеонаблюдения и система СКУД не прекращают свою работу.

Согласно пункту 7.1.9 СП 256.1325800.2016 нагрузка электроприёмников панели ПЭСПЗ не учитывается при расчете общей мощности. Коэффициент спроса для панели ПЭСПЗ принят 1,0. Расчет мощности панели ПЭСПЗ проводится согласно формуле 11:

$$P_{р.СПЗ} = \sum_i^{n=1} P_{уст.СПЗ}, \quad (11)$$

где  $P_{уст.СПЗ}$  – установленная мощность электроприёмников СПЗ.

Расчетная реактивная мощность определяется по формуле 12:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (12)$$

где  $P_p$  – расчетная активная мощность нагрузки;

$\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной нагрузки. Коэффициент реактивной нагрузки определяется по формуле 13;

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos^2 \varphi}. \quad (13)$$

Расчетная активная нагрузка по вводам ВРУ определяется по формуле 14:

$$P_{p.вв} = \sum_i^{n=1} P_p \cdot K_o, \quad (14)$$

где  $P_p$  – суммарная расчетная нагрузка здания;

$K_o$  – коэффициент одновременности участия в максимуме нагрузки, определяется по таблице 7.11 СП256.1325800.2016.

Расчетная реактивная нагрузка по вводам ВРУ определяется по формуле 15:

$$Q_{p.вв} = \sum_i^{n=1} Q_p \cdot K_o, \quad (15)$$

где  $Q_p$  – суммарная реактивная нагрузка здания;

$K_o$  – коэффициент одновременности участия в максимуме нагрузки, определяется по таблице 7.11 СП256.1325800.2016.

Средний коэффициент реактивной мощности находится по формуле 16:

$$\operatorname{tg} \varphi_{p.вв} = \frac{Q_{p.вв}}{P_{p.вв}}. \quad (16)$$

Полная расчетная мощность определяется по формуле 17:

$$S_{p.вв} = \sqrt{P_{p.вв}^2 + Q_{p.вв}^2}. \quad (17)$$

Расчетный ток определяется по формуле 18:

$$I_p = \frac{S_{p.вв}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{p.вв}}, \quad (18)$$

где  $\cos \varphi$  – средний коэффициент активной мощности, определяющийся по формуле 19;

$$\cos \varphi_p = \frac{1}{\sqrt{(1 + tg^2 \varphi_p)}}. \quad (19)$$

Все полученные данные сведены в общую ведомость электрических нагрузок. Электрическая нагрузка панели ПЭСПЗ для номинального режима и режима пожар также приведены в ведомости. Общая ведомость электрических нагрузок здания приведена в таблице 12.



Таблица 12 – Сводная ведомость электрических нагрузок здания

№ потребителя	Потребитель	Кол-во, штук	Руст, кВт	Кс/Ко	cosφ	tgφ	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Ip, А
1	ЩС-1	-	19,85	0,40	0,92	0,43	10,34	4,40	11,24	17,63
2	ЩС-2	-	17,82	0,40	0,92	0,43	9,26	3,94	10,06	15,79
3	ЩС-3	-	19,38	0,40	0,92	0,43	11,50	4,90	12,50	19,61
4	ЩС-4	-	1,70	0,90	0,95	0,33	1,53	0,50	1,61	2,45
5	ЩС-5	-	3,00	0,90	0,95	0,33	2,70	0,89	2,84	4,32
6	ЩС-6	-	24,50	0,40	0,92	0,43	13,37	5,70	14,53	22,80
7	ЩС-7	-	20,54	0,40	0,92	0,43	11,67	4,97	12,68	19,89
8	ЩС-8	-	17,48	0,40	0,92	0,43	9,96	4,24	10,83	16,99
9	ЩС-9	-	1,63	0,40	0,92	0,43	2,84	1,21	3,09	4,85
-	Итого по ГРЩ №1	-	125,90	0,58	0,92	0,42	73,17	30,76	79,37	124,27
1	ЩС-10	-	21,51	0,40	0,92	0,43	12,17	5,19	13,23	20,76
2	ЩС-11	-	24,70	0,40	0,92	0,43	12,69	5,41	13,79	21,64
3	ЩС-12	-	17,48	0,40	0,92	0,43	9,66	4,12	10,50	16,48
4	ЩС-13	-	4,00	0,90	0,95	0,33	3,60	1,18	3,79	5,76
5	ЩС-14	-	4,73	0,90	0,95	0,33	4,26	1,40	4,48	6,81
6	ЩВП	-	16,20	0,80	0,95	0,33	12,96	4,26	13,64	20,73
7	ЩВВ	-	15,90	0,80	0,95	0,33	12,72	4,18	13,39	20,34
8	ЩО	-	6,07	0,90	0,95	0,33	5,46	1,79	5,75	8,73
9	ЩУО	-	11,04	1,00	0,95	0,33	11,04	3,63	11,62	17,66
-	Итого по ГРЩ №2	-	121,63	0,70	0,94	0,37	84,57	31,16	90,12	138,63
1	СРП-1	-	14,8	0,35	0,95	0,33	5,18	1,70	5,45	8,28
2	СРП-2	-	2,76	0,35	0,95	0,33	0,97	0,32	1,02	1,54
3	СРП-3	-	2,75	0,35	0,95	0,33	0,96	0,32	1,01	1,54
4	СРП-4	-	1,35	0,35	0,95	0,33	0,47	0,16	0,50	0,76
5	СРП-5.1	-	128,5	0,35	0,95	0,33	44,98	14,78	47,34	71,93

Продолжение таблицы 12

№ потребителя	Потребитель	Количество, штук	Руст, кВт	Кс/Ко	cosφ	tgφ	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Ip, А
6	СРП-5.2	-	144,4	0,35	0,95	0,33	50,54	16,61	53,20	80,83
-	Итого по ГРЩ №3	-	294,56	0,35	0,95	0,33	103,10	33,89	108,52	164,88
1	ЩАО	1	5,762	1	0,95	0,33	5,76	1,89	6,07	9,22
2	Щит дымоудаления	1	14,8	1	0,95	0,33	14,80	4,86	15,58	23,67
3	(ЩАПС)	1	0,75	1	0,95	0,33	0,75	0,25	0,79	1,20
4	СКУД и видеонаблюдение	1	0,84	1	0,95	0,33	0,84	0,28	0,88	1,34
5	Шкаф упр. Огн.клапан.	1	1,2	1	0,95	0,33	1,20	0,39	1,26	1,92
-	Итого по ПЭСПЗ режим «норм»	-	6,602	1,00	0,95	0,33	6,60	2,17	6,95	10,56
-	Итого по ПЭСПЗ режим «пожар»	-	23,352	1	0,95	0,33	23,35	7,68	24,58	37,35
-	Итого по ВРУ	-	548,69	0,49	0,94	0,37	267,43	97,97	284,81	437,81

Вывод по разделу: в ходе расчета силовых нагрузок здания применена методика, описанная в разделе 7.2 СП256.1325800.2016. Рассчитаны мощности силовых щитов, питающих электрооборудование в помещениях и внутреннее рабочее освещение, силовых распределительных щитов питающих технологическое оборудование мастерских, а также технологическое оборудование пищеблока. Получены данные электрических нагрузок, питающих системы приточной и вытяжной вентиляции.

Выполнен расчет нагрузок электроустановок системы противопожарной безопасности, подключённых к панели ПЭСФЗ.

В ходе расчета нагрузка была распределена на три главных распределительных щита (ГРЩ). ГРЩ №1 имеет расчетную мощность 73,17 кВт, ГРЩ №2 имеет нагрузку 84,57 кВт, ГРЩ №3 имеет нагрузку 103,10 кВт.

Мощность панели ПЭСФЗ рассчитана для двух режимов. Для номинального режима расчетная мощность равна 6,6 кВт. Для режима «пожар» расчетная мощность равна 23,35 кВт. Мощность в режиме «пожар» не учитывается при расчете нагрузок по ВРУ.

## **5 Выбор кабельной продукции, щитового оборудования и аппаратов защиты. Организация учета электроэнергии**

### **5.1 Выбор марки и сечения кабелей**

Электрическая энергия передается от объекта генерации к электроприёмникам по кабелям и проводам. «При выборе кабельной продукции для объекта необходимо учитывать большое количество факторов таких как:

- предполагаемое место прокладки и способ монтажа (в земле, в воздухе, в трубах, в коробах, на лотках и кронштейнах, открыто без крепления, открыто на изоляторах, скрыто);
- категория помещений (сухие, влажные, сырые, особо сырые, особо сырые с химически активной средой);
- влияние внешних воздействий (температура окружающей среды; наличие воды, пыли, коррозионно-активных и загрязняющих веществ; механические внешние воздействия; наличие флоры и фауны; солнечное излучение; конструкция здания);
- уровень напряжения питающей сети» [2].

На данный момент от каждого фидера подстанции до ВРУ проложено два кабеля АВВГ 3×185+1×70. Прокладка происходит в двух траншеях Т-2 согласно типовому проекту А5-92 [22]. Так как кабель имеет удовлетворительное состояние было принято промежуточное решение оставить данный кабель. После проверки на длительно допустимый ток, а также проверки по потере напряжения в конце линии будет принято окончательное решение.

Было принято решение выполнить распределительную и групповую сеть кабелем ППГнг(А)–НФЛТх. Для бытовых, административных и жилых зданий, а также зданий с массовым скоплением людей важное значение имеет пожарная безопасность. При проектировании важно исключить появление любых источников вредных веществ, а также дыма при

возгорании. Согласно разделу 6 ГОСТ 31565-2012 для прокладки в зданиях дошкольных, общеобразовательных, высших учебных учреждений, а также в больницах и административных зданиях требуется применять кабели с низкой коррозионной активностью продуктов горения. Согласно таблице 2 ГОСТ 31565-2012 для прокладки в зданиях дошкольных, общеобразовательных, высших учебных учреждений рекомендуется применить кабель ППГнг(A)–HFLTx [5].

«Кабель ППГнг(A)–HFLTx имеет следующую расшифровку:

- отсутствие буквы А в начале говорит о том, что кабель с медной жилой;
- П - изоляция жил из полимерной композиции, не содержащей галогенов;
- П - оболочка из полимерной композиции, не содержащей галогенов;
- нг - не распространяет горения при групповой прокладке;
- Индекс HF означает что кабель не содержит галогенов Halogen Free;
- Индекс LTx означает низкую токсичность продуктов горения (Low Toxicity)» [7].

Данный кабель применяется в сетях переменного тока с номинальным напряжением 0,4, 0,66 и 1 кВ и с частотой до 100 Гц. Кабель предназначен для работы в электроустановках с заземленной или изолированной нейтралью, «в которых продолжительность их работы в режиме однофазного короткого замыкания на землю не превышает 8 ч, а общая продолжительность работы в режиме однофазного короткого замыкания на землю не превышает 125 ч за год» [21]. У кабеля отсутствуют ограничения для прокладки в помещениях и в кабельных конструкциях, при условии отсутствия опасности механических повреждений при эксплуатации.

Для групповой сети сечения приняты согласно таблице 15.3 СП 256.1325800.2016:

- для сети освещения – не менее 1,5 мм<sup>2</sup>;
- для розеточной сети – не менее 2,5 мм<sup>2</sup>.

Для питания распределительной сети применены пятижильный кабели ППГнг(А)–НFЛТх, для питания групповой сети трехжильные.

Для питания сети аварийного освещения и электроприёмников системы противопожарной защиты применён кабель ППГнг(А)–FRНFЛТх. Данный кабель отличается от ППГнг(А)–НFЛТх, возможностью продолжительной работы под воздействием огня и дыма при пожаре. ППГнг(А)–FRНFЛТх применяется для наиболее ответственных потребителей. Время работы при пожаре один от одного до трех часов.

Для сети внешнего освещения выбираем ВВГнг-LS, проложенный в траншее Т-1 со специальной сигнальной лентой, в гибкой гофрированной трубе.

Проверка кабеля происходит по условиям длительно-допустимого тока и по условиям потери напряжения в конце линии.

Условие проверки по длительно допустимому току приведено в формуле 20:

$$I_p \leq I_{д.д}, \quad (20)$$

где  $I_p$  – расчетный ток, протекающий в линии, А;

$I_{д.д}$  – длительно допустимый ток кабеля; значения взяты из каталога кабеля, А.

Условие проверки по потере напряжения приведено в формуле 21:

$$\Delta U_{расч} \% \leq \Delta U_{дон} \% , \quad (21)$$

где  $\Delta U_{дон} \%$  – предельно допустимое значение потери напряжения, определяется согласно пункту 5.2.4 РД 34.20.185-94;

$\Delta U_{расч} \%$  – расчетное значение потери напряжения в конце линии, определяется по формуле 22;

$$\Delta U \% = \left( \frac{P_p \cdot (r_o + tg\varphi \cdot x_o) \cdot L}{n_{каб} \cdot U_{ном}^2} \right) \cdot 100\% , \quad (22)$$

где  $r_o$  – активное погонное сопротивление кабеля, Ом/км;

$x_o$  – реактивное погонное сопротивление кабеля, Ом/км;

$L$  – длина линии, км;

$n_{каб}$  – количество параллельных кабелей.

В соответствии с пунктом 5.2.4 РД 34.20.185-94 предельно допустимая потеря напряжения в сети с номинальным напряжением 0,4 кВ равна 5% [15].

Все данные по кабелям, начала и концы кабельных трасс, итоги проверок по длительно допустимому току и по потере напряжения приведены в кабельном журнале. Кабельный журнал распределительной сети приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Кабельный журнал распределительной сети

Обозначение кабеля	Трасса		По проекту			Проверка кабеля		
	Начало	Конец	Марка	Количество кабелей, число и сечение жил,	Длина, м	$I_p \leq I_{д.д.}$		$\Delta U_{расч} \% \leq \Delta U_{доп} \%$
						$I_p, A$	$I_{д.д.}, A$	$\Delta U_{расч}, A$
W1-Ф.1	Ф6-ТП №1506	ВРУ ввод №1	АВВГ	2 каб. 3×185+1×70	42,1	265,31	810,00	3,21
W2-Ф.1	Ф22-ТП №1506	ВРУ ввод №2	АВВГ	2 каб. 3×185+1×70	42,1	164,88	810,00	2,06
M1-Ф.1	ГРЩ №1	ЩС-1	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	68,1	17,63	73,47	3,29
M1-Ф.2	ГРЩ №1	ЩС-2	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	10,2	15,79	73,47	0,44
M1-Ф.3	ГРЩ №1	ЩС-3	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	34,2	19,61	73,47	1,84
M1-Ф.4	ГРЩ №1	ЩС-4	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	66,6	2,45	73,47	0,47
M1-Ф.5	ГРЩ №1	ЩС-5	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	64,1	4,32	73,47	0,81
M1-Ф.6	ГРЩ №1	ЩС-6	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	71,4	22,80	73,47	4,47
M1-Ф.7	ГРЩ №1	ЩС-7	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	13,5	19,89	73,47	0,74
M-1-Ф.7/1		ЩК-1	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×4	42,1	5,96	43,71	1,24
M1-Ф.8	ГРЩ №1	ЩС-8	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	37,8	16,99	73,47	1,76
M1-Ф.9	ГРЩ №1	ЩС-9	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	70,54	4,85	73,47	0,94
M2-Ф.1	ГРЩ №2	ЩС-10	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	74,90	20,76	73,47	4,27
M2-Ф.1/1		ЩК-2	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×4	12	5,96	43,71	0,56
M2-Ф.2	ГРЩ №2	ЩС-11	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	17,40	21,64	73,47	1,03
		ЩК-3	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×4	16,9	5,96	43,71	0,58
M2-Ф.3	ГРЩ №2	ЩС-12	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	41,10	16,48	73,47	1,86
M2-Ф.4	ГРЩ №2	ЩС-13	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	40,74	5,76	73,47	0,68
M2-Ф.5	ГРЩ №2	ЩС-14	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	54,34	6,81	73,47	1,08
M2-Ф.6	ГРЩ №2	ЩВП	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	28,90	20,73	73,47	1,75
M2-Ф.7	ГРЩ №2	ЩВВ	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	29,50	20,34	73,47	1,75
M2-Ф.8	ГРЩ №2	ЩО	ППГнг(А)-HFLTх	1 каб. 5×10	37,40	8,73	73,47	0,95
M2-Ф.9	ГРЩ №2	ЩУО	ВВГнг-LS	1 каб. 5×10	2,00	17,66	73,47	0,10



Продолжение таблицы 13

Обозначение Кабеля	Трасса		По проекту			Проверка кабеля		
	Начало	Конец	Марка	Количество кабелей, число и сечение жил,	Длина, м	$I_p \leq I_{д.д.}$		$\Delta U_{расч} \% \leq \Delta U_{доп} \%$
						$I_p, A$	$I_{д.д.}, A$	$\Delta U_{расч}, \%$
МЗ-Ф.1	ГРЩ №3	СРП-1	ППГнг(А)-HFЛТх	1 каб. 5×10	35,2	8,28	73,47	0,25
МЗ-Ф.2	ГРЩ №3	СРП-2	ППГнг(А)-HFЛТх	1 каб. 5×10	39,4	1,54	73,47	0,05
МЗ-Ф.3	ГРЩ №3	СРП-3	ППГнг(А)-HFЛТх	1 каб. 5×10	47,85	1,54	73,47	0,06
МЗ-Ф.4	ГРЩ №3	СРП-4	ППГнг(А)-HFЛТх	1 каб. 5×10	47,2	0,76	73,47	0,03
МЗ-Ф.5	ГРЩ №3	СРП-5.1	ППГнг(А)-HFЛТх	1 каб. 5×35	69,7	71,93	146	4,32
МЗ-Ф.6	ГРЩ №3	СРП-5.2	ППГнг(А)-HFЛТх	1 каб. 5×35	67,3	80,83	146	4,68
П1-Ф.1	ПЭСПЗ- Автомат 1	ЩАО	ППГнг(А)-FRHFЛТх	1 каб. 5×10	4	9,22	73,47	0,01
П1-Ф.2	ПЭСПЗ- Автомат 2	ЩДУ	ППГнг(А)-FRHFЛТх	1 каб. 5×10	43	23,67	73,47	0,33
П1-Ф.3	ПЭСПЗ- Автомат 3	(ЩАПС)	ППГнг(А)-FRHFЛТх	1 каб. 5×10	43,5	1,20	73,47	0,02
П1-Ф.4	ПЭСПЗ- Автомат 4	СКУД	ППГнг(А)-FRHFЛТх	1 каб. 5×10	37,8	1,34	73,47	0,02
П1-Ф.5	ПЭСПЗ- Автомат 5	ШУОК	ППГнг(А)-FRHFЛТх	1 каб. 5×10	43,7	1,92	73,47	0,03

## 5.2 Выбор щитового оборудования

Для питания групповой сети выбраны щиты компании «IEK» модели ТИТАН 3 ЩРв и ЩРН УХЛ 3 IP31 на 24,36,48,54,72 модуля [9]. Данные щиты имеют как встраиваемое исполнение, так и навесное исполнение. Для щитов (ЩС) применено встраиваемое исполнение, а для СРП применено навесное исполнение. Щиты ТИТАН 3 ЩРв и ЩРН предназначены для построения распределительных щитов с использованием модульного оборудования, для приёма, распределения электрической энергии и передачи электроприёмникам групповой сети. Щит сконструирован согласно техническим условиям УKM.001.2015. Корпус сварной, со специальным антикоррозийным покрытием, препятствующим появлению ржавчины, что значительно удлиняет срок эксплуатации, утолщенные стенки увеличивают механическую прочность. На задней стенке имеются отверстия для навески на стену. На нижней стенке корпуса присутствуют отверстия, для ввода кабелей, также существуют модели с вводом кабеля на верхней стенке. В щите установлены DIN-рейки TH-35-7,5, выполненные согласно ГОСТ IEC 60715 и предназначенные для монтажа модульного оборудования. В нижней части корпуса установлены специальные рейки для монтажа шин N и PE. Рейки для монтажа шин N и PE оцинкованные, что снижает риск коррозии металла. Существует возможность установки в щит специализированной оперативной панели, которая отгораживает доступ человека к токоведущим элементам в щите, что снижает возможность поражения электрическим током. Оперативная панель идет в комплекте к щиту. Также в комплекте к щиту прилагается маркировочная таблица для обозначения отходящих групп и специальные знаки электробезопасности, указывающие об опасности. Корпус практически не имеет зазоров, а также закрывается на надежный замок, что препятствует доступ к щиту посторонних, что в помещениях с массовым пребыванием детей очень важно.

В качестве защиты от токов перегрузки и короткого замыкания сети освещения выбраны автоматические выключатели компании «IEK» модели ВА47-29 с типом время токовой характеристики «С» ( $5-10 I_{ном}$ ). Автоматические выключатели ВА47-29 предназначены для однофазных или трёхфазных сетей с напряжением 230 и 400 В соответственно при промышленной частоте 50 Гц и отсутствием импульсным скачков тока. Выключатель выполняет функцию автоматического отключения сети при появлении сверхтоков (по причине перегрузки либо короткого замыкания). Автоматический выключатель ВА47-29 соответствует нормам технических документов ТР ТС 004/2011, ТР ЕАЭС 037/2016, ГОСТ IEC 60898-1.

Согласно пункту 7.1.71 ПУЭ «для защиты групповых линий, питающих штепсельные розетки для переносных электрических приборов, рекомендуется предусматривать устройства защитного отключения (УЗО)» [14]. Также согласно пункту 7.1.76 ПУЭ рекомендуется применение аппарата, имеющего функции как устройства защитного отключения, так и автоматического выключателя. Поэтому для защиты групповой, силовой сети, а также освещения во влажных помещениях выбраны дифференциальные автоматические выключатели серии АД12, с времятоковой характеристикой «С», с номинальным током утечки 30 мА. Дифференциальный автоматический выключатель – это устройство, совмещающее функции автоматического выключателя и устройства защитного отключения. Конструкция аппарата состоит из двух основных узлов: дугогасительной камеры с установленным тепловым и электромагнитным расцепителями, а также модуль дифференциальной защиты. Модуль дифференциальной защиты представляет собой: дифференциальный трансформатор тока, электронный усилитель с пороговым устройством, электромагнит сброса, а также источник питания. Большим преимуществом установки дифференциального автоматического выключателя перед связкой УЗО и автоматический выключатель является

существенная экономия пространства в щите, что позволяет выполнить более компактную компоновку щита.

Электроснабжение распределительной сети осуществляется от вводного распределительного щита ВРУ 1-13-20 УХЛ4 производства компании «СтандартЭнерго» [8]. Вводное распределительное устройство применяется для приема электрической энергии от источника питания и её распределения по территории объекта электроснабжения. ВРУ 1-13-20 применяется в сетях промышленной частоты с глухозаземлённой нейтралью, позволяет организовывать системы заземления TN-C, TN-S, TN-CS. Щит имеет размеры 1200×2000×450 мм, корпус сварной, напольной установки. Данное ВРУ имеет два ввода, что позволяет обеспечить объекту II категорию электроснабжения. ВРУ 1-13-20 УХЛ4 поставляется сразу с предустановленным комплектом оборудования. Перечень предустановленного оборудования приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень предустановленного оборудования ВРУ 1-13-20 УХЛ4

Наименование	Количество
Счетчик эл. эн. 3-фаз, мн.тариф. STAR 304/1 R2-5(60)Э 4ШНО	2
Плавкая вставка предохранителя ППНИ-37, габарит 2, 400А	6
Держатель предохранителя ДП-37, габарит 2, 400А	6
Трансформатор тока ТТИ-40 400/5А 5ВА 0,5	6
Светильник светодиодный ДБО 3002 7Вт 4000К IP20 572мм пластик	2
Авт. выкл. ВА47-29 1P 6А 4,5кА х-ка С	2
Выключатель-разъединитель ВР32И-37В71250 400А	2

По требованию заказчика в качестве аппаратов защиты применены рубильники с предохранителями.

По требованию заказчика в качестве главных распределительных щитов выбран щит модели 1-47-00 производства компании «СтандартЭнерго» [8]. Щит имеет размеры 800×2000×450 мм, корпус сварной, напольной установки. В комплекте с щитом предустанавливаются плавкие вставки предохранителя ППНИ-33, габарит 0, 100А в количестве 30

штук, а также держателей предохранителя ДП-33, габарит 0, 160 А в количестве 30 штук.

По требованию заказчика в качестве аппаратов защиты применены рубильники с предохранителями.

В качестве панели ПЭСПЗ в проект выбран щит управления и автоматики ЩМП-4-074 «ЩУ-П НИКОМ» производства компании «НИКОМ» [13]. Панель имеет специальный красный окрас, что отличает её от обычных силовых щитов, оболочка корпуса выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ 32127 и ГОСТ 10985. Щит имеет настенное исполнение, конструкция корпуса цельнометаллическая. Доступ к щиту производится посредством открытия дверцы. Дверца запирается на замок, что ограничивает доступ посторонних людей к панели.

Внутри панели предусмотрена «металлическая монтажная панель с установленными на ней автоматическими выключателями, контакторами, промежуточными реле, блоками контроля фаз, блоками реле, регуляторами температуры и блоками зажимов для подсоединения силовых и контрольных кабелей. На двери Щита располагаются элементы местного управления (кнопки), переключатель режима работы и световая индикация» [13].

### **5.3 Организация учёта электроэнергии**

Коммерческий учет электрической энергии организован энергоснабжающей компанией. Счетчики коммерческого учета установлены на фидерах трансформаторной подстанции обеспечивающей электроэнергией школу.

Технический учёт обеспечивается двумя электронными, трехфазными, многотарифными счётчиками STAR 304/1 R2-5(60)Э 4ШИО (трансформатор тока ТТИ-40 400/5А 5ВА 0,5. Каждый счетчик снимает показания с отдельного ввода. Каждый счетчик должен иметь пломбы поверяющей организации.

Вывод по разделу: в данном разделе выбрана кабельная продукция, электрощитовое оборудование, аппараты защиты и организован учёт электроэнергии.

Ввиду удовлетворительного состояния кабелей АВВГ 3×185+1×70, принято предварительное решение оставить не заменять данные кабели и провести проверку по длительно допустимому току и потере напряжения в конце линии. Согласно результатам проверки принято окончательное решение оставить кабель.

Для распределительной сети выбран кабель ППГнг(А)–HFЛТх, для трехфазных электроприёмников был выбран пятижильный кабель, для однофазных трехжильных. Для светильников аварийного освещения и электроприёмников панели ПЭСПЗ выбран кабель ППГнг(А)–FRHFЛТх. Для сети внешнего освещения выбран кабель ВВГнг-LS.

Выбраны силовые щиты компании «IEK», модели ТИТАН 3 ЩРв и ЩРН. Для защиты трехфазных силовых сетей, а также сетей освещения был выбран автоматический выключатель серии ВА47-29. Для защиты групповых силовых сетей, а также сетей освещения во влажных помещениях выбран дифференциальный автоматический выключатель АД12.

Выбран вводной распределительный щит ВРУ 1-13-20 УХЛ4 производства компании «СтандартЭнерго». В качестве главного распределительного щита в проект заложен щит модели 1-47-00 производства компании «СтандартЭнерго». По требованию заказчика в качестве аппаратов защиты выбраны предохранители. В качестве панели ПЭСПЗ выбран ЩМП-4-074 «ЩУ-П НИКОМ».

Коммерческий учет электрической энергии организован на подстанции энергосбытовой компании. Технический учет обеспечивается двумя электронными счётчиками STAR 304/1 R2-5(60)Э 4ШИО.

## 6 Расчет токов короткого замыкания

Коротким замыканием называют «всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек электроустановки между собой или землей при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительности режима» [3]. Короткое замыкание является опасным режимом работы сети, способным вывести из строя электрооборудование или привести к пожару в здании. Поэтому все аппараты защиты должны защищать как от перегрузки, так и от токов КЗ.

Значения токов короткого замыкания позволяют провести проверку предельной отключающей способности, проверку термической и электродинамической стойкости аппаратов защиты, проверку на не возгорание кабеля.

Для полного представления необходимо провести расчет токов КЗ в трех основных точках:

- на вводе в вводное распределительное устройство (ВРУ);
- на вводе у самого удаленного от ВРУ приёмника;
- на вводе у самого мощного электроприёмника, подключенного к ВРУ.

Самым удалённым электроприёмником является щит ЩС-10, самым мощным СРП-5.1.

Токи КЗ в остальных точках энергосистемы будут укладываться в диапазон между этими значениями. Это позволяет значительно сократить количество расчетов.

Так как рассматриваются токи короткого замыкания на стороне ниже 1 кВ, то все расчеты ведутся в именованных единицах.

Расчетная схема для расчетов токов КЗ приведена на рисунке 21.

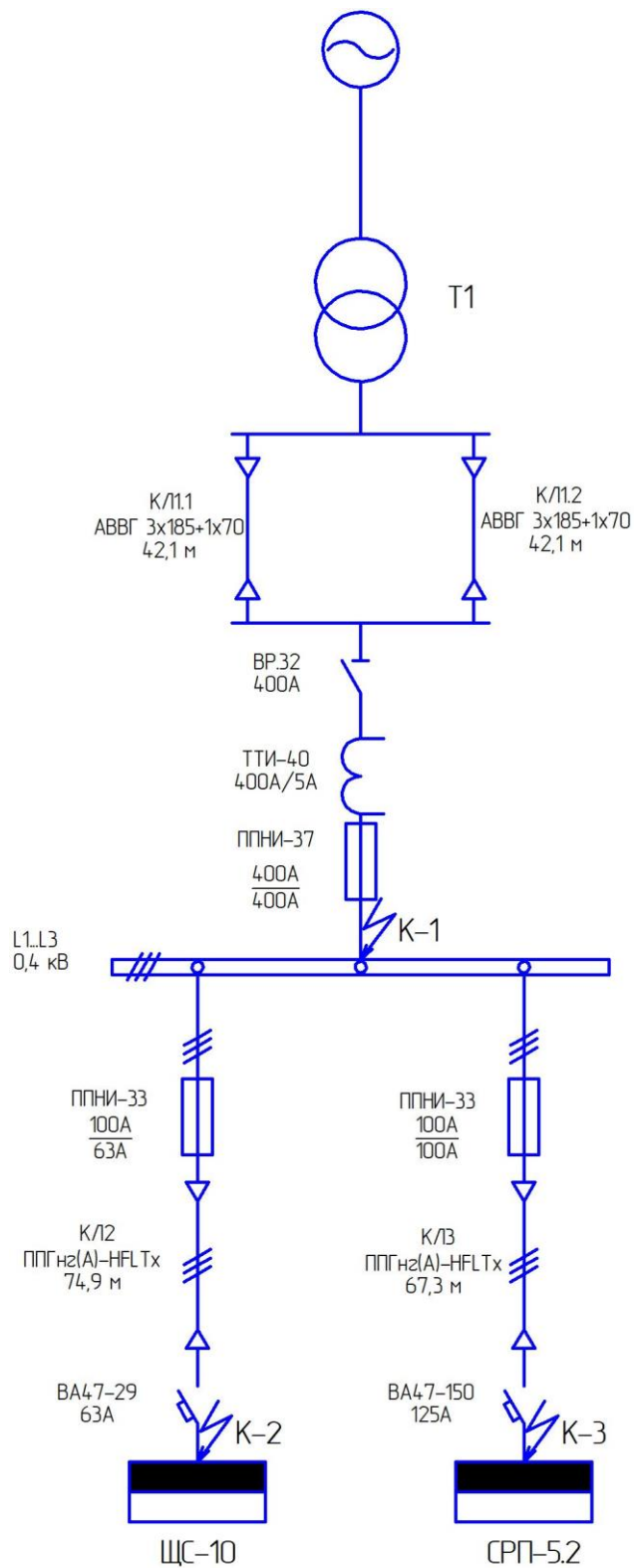


Рисунок 21 – Расчетная схема для расчетов токов КЗ

Для нахождения тока короткого замыкания необходимо построить схему замещения. Схема замещения представляет расчетную схему, в которой все элементы заменены на эквивалентные сопротивления.



Согласно ГОСТ 28249-93 «При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1000 В необходимо принимать в учёт:

- индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- активные сопротивления различных контактов и контактных соединений» [4].

Необходимо определить параметры схемы замещения. Эквивалентное сопротивление системы определяется по формуле 23, мОм:

$$x_C = \frac{U_{cp.HH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{откл.ном} \cdot U_{cp.BH}}, \quad (23)$$

где  $U_{cp.HH}$  – средненоминальное напряжение на стороне низкого напряжения трансформатора, кВ;

$U_{cp.BH}$  – средненоминальное напряжение на стороне высокого напряжения трансформатора, кВ;

$I_{откл.ном}$  – номинальный ток отключения защитного аппарата, кА.

Активное сопротивление кабельных линий определяются согласно формулам 24 и 25:

$$R_{кл} = r_0 \cdot L, \quad (24)$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot L, \quad (25)$$

где  $r_0$  и  $x_0$  – удельное активное и реактивное сопротивления соответственно, мОм/м;

$L$  – длина линии, м.

Данные сопротивления трансформатора определяются согласно таблице 1.9.1 [23]. Данные сопротивления трансформаторов тока определяются согласно таблице 1.9.2 [23]. Данные для автоматов и рубильников определяются согласно таблице 1.9.3 [23]. Значение переходных сопротивлений на ступенях распределения определяются согласно таблице 1.9.4. Схема замещения приведена на рисунке 22.

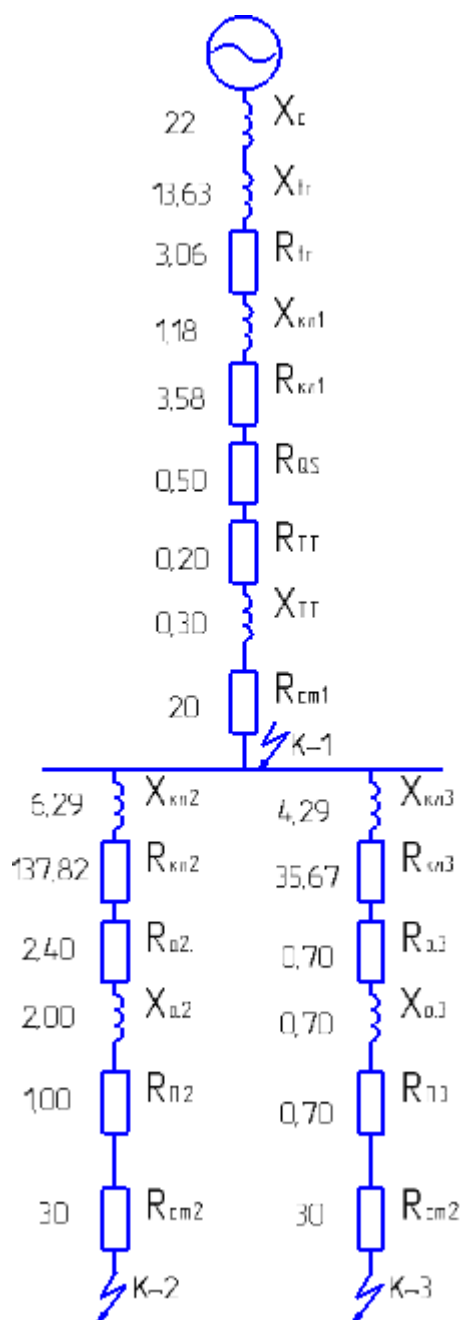


Рисунок 22 – Схема замещения

Для удобства расчета преобразуем все сопротивления до одного активного и одного реактивного сопротивления.

Суммарное активное сопротивления до точки К-1 определяется по формуле 26:

$$\sum R_{K-1} = R_{tr} + R_{\kappa\tau 1} + R_{QS} + R_{TT} + R_{cm1}. \quad (26)$$

Суммарное активное сопротивления до точки К-2 определяется по формуле 27:

$$\sum R_{K-2} = \sum R_{K-1} + R_{\kappa\tau 2} + R_{a2} + R_{II2} + R_{cm2}. \quad (27)$$

Суммарное активное сопротивления до точки К-3 определяется по формуле 28:

$$\sum R_{K-3} = \sum R_{K-1} + R_{\kappa\tau 3} + R_{a3} + R_{II3} + R_{cm2}. \quad (28)$$

Суммарное реактивное сопротивления до точки К-1 определяется по формуле 29:

$$\sum X_{K-2} = \sum X_{K-1} + X_{\kappa\tau 2} + X_{a2}. \quad (29)$$

Суммарное реактивное сопротивления до точки К-2 определяется по формуле 30:

$$\sum X_{K-2} = \sum X_{K-1} + X_{\kappa\tau 2} + X_{a2}. \quad (30)$$

Суммарное реактивное сопротивление до точки К-3 определяется по формуле 31:

$$\sum X_{K-3} = \sum X_{K-1} + X_{к\tau 3} + X_{a3}. \quad (31)$$

Полное сопротивление каждого участка находится по формуле 32:

$$Z_{K-i} = \sqrt{\sum R_{K-i}^2 + \sum X_{K-i}^2}. \quad (32)$$

Ток трехфазного короткого замыкания в рассматриваемых точках определяется по формуле 33, кА:

$$I_{Ki}^{(3)} = \frac{U_{н.нн}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K-i}}. \quad (33)$$

Ток двухфазного короткого замыкания в рассматриваемых точках определяется по формуле 34, кА:

$$I_{Ki}^{(2)} = I_{Ki}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}. \quad (34)$$

Ударный ток короткого замыкания определяется по формуле 35, кА:

$$i_{y\partial i} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{Ki}^{(3)}, \quad (35)$$

где –  $k_{y\partial}$  ударный коэффициент,  $k_{y\partial} = F(\sum X_{K-i}/\sum R_{K-i})$  принимается по справочным таблицам.

Значения активного, реактивного, полного сопротивления, тока трехфазного, двухфазного коротких замыканий, ударного тока КЗ сведены в сводную ведомость в таблице 15.

Таблица 15 – Сводная ведомость по расчету токов КЗ

Точка КЗ	$\Sigma R_{K-i}$ , мОм	$\Sigma X_{K-i}$ , мОм	$Z_{K-i}$ , мОм	$\frac{\Sigma X_{K-i}}{\Sigma R_{K-i}}$	$k_{y\delta}$	$I_{Ki}^{(3)}$ , А	$I_{Ki}^{(2)}$ , А	$i_{y\delta i}$ , А
К1	27,34	37,10	46,08	1,36	1,1	5,01	4,34	7,80
К2	198,56	45,39	203,68	0,23	1,0	1,13	0,98	1,60
К3	94,41	42,09	103,37	0,45	1,0	2,23	1,93	3,16

Вывод по разделу: в данном разделе рассчитаны токи короткого замыкания, в трех точках электрической сети: на вводе ВРУ, на вводе у наиболее удаленного электроприёмника (ЩС-10) и на вводе у наиболее мощного электроприёмника (СРП-5.1).

Построена схема замещения системы электроснабжения школы и рассчитаны активные и реактивные сопротивления элементов.

Определены токи трехфазного и двухфазного КЗ, а также определён ударный ток короткого замыкания. Самым мощным ударный ток оказался в точке К1 (на вводе ВРУ), а самым низким в точке К2 (на вводе ЩС-10).

## **7 Проверка аппаратов защиты и кабелей на предельную отключающую способность**

Проведем проверку кабелей и аппаратов защиты на предельную отключающую возможность.

Допустимый ток односекундного короткого замыкания кабеля АВВГ 3×185+1×70 равняется 13,37 кА, что выше ударного тока КЗ в точке К1 (7,80кА).

Допустимый ток кабеля ППГнг(А)–НФЛТх 5×10 равняется 1,09 кА, что ниже ударного тока КЗ в точке К2 (1,60 кА). Необходимо заменить данный кабель на ППГнг(А)–НФЛТх 5×16 с допустимым односекундным током КЗ 1,74 кА.

Допустимый ток односекундного короткого замыкания кабеля ППГнг(А)–НФЛТх 5×35 равняется 3,86 кА, что выше ударного тока КЗ в точке К3 (3,16 кА).

Выбранные автоматические выключатели для ЩС-10 и СРП-5.2 имеют предельную отключающую способность 4,5 и 15 кА, что выше ударных токов КЗ в точке К2 и К3 соответственно (1,6 кА и 3,16 кА).

На вводе установлены предохранители типа ППНИ-37 с предельной отключающей способностью 50 кА. Выключатель разъединитель модели ВР-32, установленный в ВРУ, имеет допустимый односекундный ток КЗ 30 кА, что также превышает значение наибольшего ударного тока КЗ.

Вывод по разделу: в данном разделе была проведена проверка кабелей и аппаратов защиты на предельную отключающую способность. Все аппараты защиты успешно прошли проверку. При проверке кабелей некоторые не прошли успешно проверку. Эти кабели были заменены на кабели большего сечения.

## **8 Мероприятия по организации заземления и уравниванию потенциала**

### **8.1 Расчет заземляющего устройства**

В соответствии с главой 1.7 ПУЭ все не токоведущие части электроустановок, не находящихся в нормальном режиме под напряжением, обязательно должны быть заземлены. Для объекта в качестве искусственного заземлителя предусмотрен наружный контур заземления. Конструктивное исполнение контура заземления приведено в графической части.

Наружный контур заземления состоит из двух основных частей: из вертикальных электродов и соединяющих их между собой горизонтальных заземлителей. В качестве вертикального электрода выбран стальной круг диаметром 18 мм из стали марки С245 длиной 3 м в количестве 6 штук. В качестве горизонтального заземлителя в проект заложена стальная полоса сечением 5×40 мм из стали марки С245 общей длиной 463,7 м. Полоса прокладывается в кабельной траншее типа Т-1 [22] на глубине 0,7 м от отметки земли. Все соединения требуется выполнить электрической сваркой.

Исходные данные о составе и состоянии грунта в районе строительства приняты по результатам инженерно-геологических изысканий:

- вид грунта – песок мелкий средней плотности;
- степень водонасыщения – низкая;
- коррозионная агрессивность к конструкциям из стали – низкая.

Удельное сопротивление грунта в районе строительства принимается 100 Ом·м, сезонный коэффициент колебания значения удельного сопротивления принят равным 1,1.

Расчет параметров заземляющего устройства проведен по методике, приведенной ниже с соблюдением норм технического проектирования.

Уточнённое удельное сопротивление грунта в районе проектируемого объекта определяется по формуле 36:

$$\rho = \rho_{y\partial} \cdot \psi, \quad (36)$$

где  $\rho_{y\partial}$  – удельное сопротивление грунта;

$\psi$  – коэффициент сезонного изменения удельного сопротивления.

Сопротивление вертикального электрода определяется согласно формуле 37:

$$R_{\varepsilon} = \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \left( \lg \left( \frac{2 \cdot L}{d} \right) + 0,5 \cdot \lg \left( \frac{4t + L}{4t - L} \right) \right), \quad (37)$$

где  $L$  – длина стального круга, м;

$d$  – диаметр стального круга, м;

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

Сопротивление горизонтального электрода определяется согласно формуле 38:

$$R_{\varepsilon} = \frac{0,366 \cdot \rho}{L_n} \cdot \lg \frac{2L_n^2}{b_n \cdot t_n}, \quad (38)$$

где  $L_n$  – длина стальной полосы, м;

$b_n$  – ширина стальной полосы, м;

$t_n$  – расстояние от поверхности земли до середины полосы, м.

Коэффициенты использования согласно таблице 1.9.5 [23]:

— вертикальных электродов  $K_{ИВ} = 0,74$ ;

— горизонтального заземлителя  $K_{ИГ} = 0,53$ .



Суммарное сопротивление вертикальных электродов определяется согласно формуле 39:

$$R_{в.сум} = \frac{R_в}{(n \cdot K_{ИБ})}, \quad (39)$$

где  $n$  – количество вертикальных электродов.

Суммарное сопротивление полосы определяется по формуле 40:

$$R_{з.сум} = \frac{R_з}{K_{ИП}}. \quad (40)$$

Полное сопротивление заземляющего устройства определено по формуле 41:

$$R_з = \frac{R_{в.сум} \cdot R_{з.сум}}{R_{в.сум} + R_{з.сум}}. \quad (41)$$

Проверка сопротивления заземляющего устройства на соответствие требованиям ПУЭ [14] проводится согласно формуле 42:

$$R_з \leq R_{норм}, \quad (42)$$

где  $R_{норм}$  – нормируемое значения сопротивления заземляющего контура, согласно пункту 1.7.101 ПУЭ.

Согласно пункту 1.7.101 ПУЭ (7 издание) «Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль трансформатора, в любое время года должно быть не более 4 Ом соответственно при линейном напряжении 380 В» [14]. Результаты расчета приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Сводная ведомость расчета заземляющих устройств

Заземляющее устройство	$\rho$ , Ом·м	$R_B$ , Ом	$R_T$ , Ом	$R_{B.сумм}$ , Ом	$R_{T.сумм}$ , Ом	$R_z$ , Ом	$R_z \leq R_{норм}$
Заземляющий контур	110	35,93	0,62	8,09	1,18	1,03	$1,03 \leq 4$

В технических помещениях здания смонтированы внутренние контуры заземления, которые в свою очередь соединены с наружным контуром заземления. Соединение обеспечено при помощи метода электрической сварки. Внутренний контур сконструирован при помощи стальной полосы 5×40 мм, расположенной на высоте 500 мм над уровнем пола. Внутренние контуры окрашиваются в отличительный желто-зелёный цвет, а также имеют специальную маркировку.

Шины защитного заземления всех групповых щитов, силовых распределительных пунктов, панели ПЭСПЗ соединены с защитным заземлением ВРУ при помощи отдельного защитного проводника (РЕ) распределительной сети.

## 8.2 Система уравнивания потенциала и система заземления

Согласно пункту 7.1.13 ПУЭ (7 издание), «питание электроприемников должно выполняться от сети 380/220 В с системой заземления TN-S или TN-C-S» [14]. Для общей образовательной школы была выбрана система TN-C-S.

Основным преимуществом системы TN-C-S перед системой TN-C является то, что при обрыве PEN проводника в здании система не теряет своих защитных функций.

Система TN-C-S хоть и проигрывает системе TN-S в плане электробезопасности, однако имеет преимущество в экономическом плане так как монтаж схемы TN-S стоит на порядок дороже [27].

Еще одним фактором, сделавшим выбор в пользу системы TN-C-S. Было принятие технического решения оставить кабели, идущие от

подстанции до ВРУ. Применение системы TN-C-S позволяет значительно уменьшить экономические затраты, а также снизить объем земляных работ. Главным недостатком данной системы является потеря защитных свойств, при обрыве или повреждением проводника PEN до разделения.

В здании выполнена система уравнивания потенциала. Система уравнивания потенциалов (СУП) – это преднамеренное электрическое соединение всех частей способных проводить электрический ток для достижения равенства потенциалов. К СУП подключается: защитный проводник (PE), проводник, присоединяемый к контуру заземления, металлические трубопроводы водоснабжения и канализации, арматуры и другие металлические элементы каркаса здания, заземлители молниезащиты (при наличии) [26].

Все элементы присоединяются к главной заземляющей шине (ГЗШ). Присоединение осуществлено радиальным способом. ГЗШ выполнена в виде щитка заземления. Минимальное сечение медного проводника для присоединения к СУП согласно пункту 1.7.137 ПУЭ равно 6 мм<sup>2</sup>.

Вывод по разделу: в данном разделе спроектирован внешний контур заземления. Определены параметры заземляющего контура. Параметры заземляющего контура соответствуют установленным нормам. Определена система заземления TN-C-S и система уравнивания потенциалов.

## Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы проведена реконструкция системы электроснабжения средней общей образовательной школы №74 г.о Тольятти, которая соответствует всем требованиям электробезопасности и стандартам энергоэффективности.

В начале проведено обследование действующей системы электроснабжения. В ходе исследования объекта выявлено большое количество нарушений и не соблюдения установленных правил. На основании итогов обследования объекта, а также предполагаемого увеличения нагрузки в следствие установки нового оборудования, было принято решение о реконструкции системы электроснабжения.

Принято техническое решение о разделении групповой силовой и осветительной сети и подключении их к отдельным аппаратам защиты.

Реконструирована система общего рабочего освещения. Проведен светотехнический расчет и полученные параметры соответствуют СП 52.13330.2016. Выполнен электрический расчет системы общего рабочего освещения. Полученные нагрузки учтены при расчёте силовых нагрузок здания

Проведен светотехнический и электрический расчёт аварийного освещения. Светотехнический расчет выполнен согласно ГОСТ Р 55842-2013. Выполнен электрический расчет аварийного освещения. Расчётная мощность щита ЩАО равна 5,76 кВт, расчётный ток равен 8,75 А.

Выполнен светотехнический расчет и электрический расчет системы наружного освещения. Наружное освещение получает питание от щита ЩУО. Расчетная мощность щита ЩУО равна 11,04 кВт, расчетный ток равен 16,77 А.

Проведен расчет силовых нагрузок здания. Вся силовая нагрузка распределена на 3 главных распределительных щита. Расчетная мощность ГРЩ №1 равна 73,17 кВт, расчетный ток равен 124,27 А. Расчетная

мощность ГРЩ №2 равна 84,57 кВт, расчетный ток равен 138,27 А. Расчетная мощность ГРЩ №3 равна 103,10 кВт, расчетный ток равен 164,88 А. Рассчитана мощность панели ПЭСПЗ в двух режимах: номинальный режим и режим «пожар». Мощность в номинальном режиме равна 6,6 кВт, расчетный ток равен 10,56 А. Мощность в режиме «пожар» равна 23,35 кВт, расчетный ток равен 37,35 А. Мощность в режиме пожар не учитывается в общем расчете силовых нагрузок.

При выборе кабельной продукции было принято решение оставить вводные кабели АВВГ 3×185+1×70. Для распределительной сети выбран кабель ППГнг(А)–НФЛТх. Для сети внешнего освещения выбран кабель ВВГнг–LS. Проведены проверки по длительно допустимому току и потере напряжения в конце линии. По итогу все проверки были успешно пройдены.

В качестве основного щитового оборудования выбраны щиты марки «ИЭК» ТИТАН 3 ЩРв и ЩРН УХЛ 3 IP31. В качестве аппаратов защиты выбраны автоматические выключатели ВА47-29 и дифференциальные автоматические выключатели АД12. Для ВРУ и ГРЩ выбраны панели 1-13-20 и 1-47-00 производства компании «СтандартЭнерго». В качестве аппаратов защиты выбраны предохранители серии ППНИ.

Проведен расчет токов короткого замыкания и проведена проверка кабелей и оборудования на предельную отключающую возможность. Все аппараты защиты успешно прошли проверку. Кабели, не прошедшие проверку, были заменены на кабели большего сечения.

Спроектирован внешний заземляющий контур здания и проведен расчет его сопротивления. Сопротивление не превышает нормируемого ПУЭ значения (4 Ом). В здании выполнена система уравнивания потенциалов.

Поставленные задачи выполнены, цель ВКР достигнута.

## Список используемых источников

1. Более 7 000 школ в России требуют капитального ремонта [Электронный ресурс] : ОКНА МЕДИА. URL: <https://www.oknamedia.ru/novosti/bolee-7-000-shkol-v-rossii-trebuyut-kapitalnogo-remonta-52409> (дата обращения 27.02.2023).
2. Выбор проводов и кабелей для электропроводок [Электронный ресурс] : Информационная торговая система «ЭлектроТехИнфо». URL: [https://eti.su/articles/spravochnik/spravochnik\\_1564.html](https://eti.su/articles/spravochnik/spravochnik_1564.html) (дата обращения 19.03.2023).
3. ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения. Введ. 1986-07-01. М.: Стандартиформ, 2019. 19 с. 3.
4. 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.
5. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. требования пожарной безопасности. М. : Стандартиформ, 2012. 10 с.
6. ГОСТ 55842-2013. Освещение аварийное. Классификация и нормы. М. : Стандартиформ, 2013. 12 с.
7. Кабель ППГнг-НФ [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 24.04.2022).
8. Каталог. Корпуса ВРУ и ГРЩ [Электронный ресурс] // ООО «СТАНДАРТЭНЕРГО». URL: [https://standart-energo.ru/catalog/korpus\\_vru\\_iek/](https://standart-energo.ru/catalog/korpus_vru_iek/) (дата обращения 16.04.2023).
9. Каталог. Корпуса металлические распределительные ТИТАН 3 [Электронный ресурс] // ООО «ИЭК ХОЛДИНГ». URL: [https://www.iek.ru/products/catalog/shchitovoe\\_oborudovanie/korpusa\\_metalliche](https://www.iek.ru/products/catalog/shchitovoe_oborudovanie/korpusa_metalliche)

skie\_modulnye/korpusa\_metallicheskie\_raspredelitelnye\_titan/korpusa\_metalliche  
skie\_raspredelitelnye\_titan\_3/ (дата обращения 04.04.2023).

10. Каталог. Опоры граненые конические несилловые фланцевые  
ОГКЛф [Электронный ресурс] // ООО «Электростарт». URL:  
<https://www.etm.ru/cat/nn/4026659> (Дата обращения 10.03.2023).

11. Каталог. Освещение образовательных учреждений [Электронный  
ресурс] // ООО "МГК «Световые Технологии». URL:  
<https://www.ltcompany.com/ru/solutions/schoollighting/> (дата  
обращения 06.04.2023).

12. Каталог. Уличное и парковое освещение [Электронный ресурс] //  
ООО «Волжский светотехнический завод Луч» URL:  
<https://vstzluch.ru/catalogue/parkovoe-osveschenie> (дата обращения 06.04.2023).

13. Панели противопожарных устройств (ППУ) [Электронный ресурс] :  
НИКОМ URL: <https://www.nicom.su/data/development/2/6/1535556879.pdf>  
(дата обращения 16.04.2023).

14. Правила устройства электроустановок. М. : ЭНАС, 2022. 330 с.

15. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских  
электрических сетей : нормативно-технический материал : Минтопэнерго  
РФ, 1994. 31 с.

16. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных  
зданий. Правила проектирования и монтажа : нормативно-технический  
материал : Москва, Стандартинформ, 2016. 84 с.

17. СП 439.1325800.2018. Здания и сооружения. Правила  
проектирования аварийного освещения : нормативно-технический материал :  
Москва, Стандартинформ, 2018. 63 с.

18. СП 440.1325800.2018. Спортивные сооружения. Проектирование  
естественного и искусственного освещения : нормативно-технический  
материал : Минстрой России 2018. 50 с.

19. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение :  
нормативно-технический материал : Москва, Стандартинформ, 2016. 121 с.

20. СП 6.13130.2021 Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности М.: ЦНИИПромзданий, 2021. 12 с.
21. СТО 56947007- 29.240.65.205-2015. Кабельные системы на напряжение 0,66 - 35 кВ. Типовые технические требования. Стандарт организации. Москва: ОАО "ФСК ЕЭС", 2015. 116 с.
22. Типовой проект. Шифр А5-92. Прокладка кабелей напряжением до 35 кВ в траншеях : сборник технических решений : Москва, ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект», 1992. 58 с.
23. Шеховцев В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 214 с.
24. Croft T., Hartwell F.P., Summers W.I. American Electricians' Handbook. - New York City: McGraw-Hill Education, 2020. - 1712 p.
25. Daza S.A. Electric Power System Fundamentals. London: Artech House, 2020. 388 p.
26. Electrical network protection devices [Электронный ресурс]: URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2096/1/012201/meta> (дата обращения 27.04.2023).
27. Kobayashi Haruo, Nabeshima Takashi. Handbook of Power Management Circuits. Pan Stanford, 2022. — 389 p.
28. Mohamed A. Ibrahim. Protection & Control for Power System. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2021. 540 p.