

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы городского наружного освещения

Обучающийся

Т.И. Юнусов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Тольятти 2023

## Аннотация

Пояснительная записка содержит 44 страниц, графическая часть состоит из 6 чертежей формата А1, 20 источников.

Ключевые слова: проектирование, освещение, нагрузка, светильник, оборудование.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка проекта системы городского наружного освещения парка Декабристов в Василеостровском административном районе города Санкт–Петербурга.

Объект исследования выпускной квалификационной работы – наружное освещение парка Декабристов в Василеостровском административном районе города Санкт–Петербурга.

Предмет исследования выпускной квалификационной работы – система электроснабжения наружного освещения парка Декабристов в Василеостровском административном районе города Санкт–Петербурга.

Для достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы будут решены следующие задачи:

- выбрать тип и мощность источников освещения;
- выполнить расчет электрических нагрузок;
- выбрать линии электроснабжения;
- выбрать защитное оборудования линия питания системы освещения.

Для решения поставленных задач работа будет разделена на три раздела.

## Содержание

Введение .....	4
1 Общие сведения об объекте проектирования .....	6
2 Расчет осветительного оборудования .....	10
2.1 Анализ существующих типов светильников .....	10
2.2 Выбор светильников городского наружного освещения .....	13
2.3 Расчет количества светильников городского наружного освещения .....	15
3 Расчет системы электроснабжения .....	23
3.1 Расчет нагрузки городского наружного освещения .....	23
3.2 Выбор схемы электроснабжения .....	25
3.3 Расчет линии 0,4 кВ.....	28
3.4 Выбор оборудования РУ-0,4 кВ .....	32
Заключение .....	40
Список используемых источников.....	43

## Введение

В любой системе освещения главным ее элементом является источник света. Сразу стоит отметить, что тот или иной источник света приобретает всеобщую популярность в зависимости от развития технологий. Так, к примеру, раньше повсеместно использовались лампы накаливания, затем начался постепенный переход на люминесцентные светильники, и наконец, в настоящее время наибольшей популярностью начинают пользоваться светодиодные источники света. Упомянутые источники света применяются в системах общего освещения. В тоже время, в зависимости от назначения внешних факторов могут применяться различные источники света.

На эффективность системы освещения оказывают влияние ряд факторов:

- эффективность источника искусственного освещения;
- возможность применения естественного освещения;
- наличие системы управления освещением.

Источники света, в зависимости от применяемых в них технологий, обладают различными характеристиками:

- величина светового потока;
- цветовая температура;
- индекс цветопередачи;
- сила света;
- мощность;
- световая отдача;
- уровень безопасности.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка проекта системы городского наружного освещения парка Декабристов в Василеостровском административном районе города Санкт–Петербурга.

Объект исследования выпускной квалификационной работы – наружное освещение парка Декабристов в Василеостровском административном районе города Санкт–Петербурга.

Предмет исследования выпускной квалификационной работы – система электроснабжения наружного освещения парка Декабристов в Василеостровском административном районе города Санкт–Петербурга.

Для достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы будут решены следующие задачи:

- выбрать тип и мощность источников освещения;
- выполнить расчет электрических нагрузок;
- выбрать линии электроснабжения;
- выбрать защитное оборудования линия питания системы освещения.

Для решения поставленных задач работа будет разделена на три раздела.

## 1 Общие сведения об объекте проектирования

Парк Декабристов находится в Василеостровском административном районе города Санкт–Петербурга.

Участок работ располагается в Василеостровском районе г. Санкт-Петербурга, расположенный на пересечении проспекта КИМа, Уральской и Наличной улиц.

Для города характерна частая смена воздушных масс, обусловленная в значительной степени циклонической деятельностью. Летом преобладают западные и северо-западные ветры, зимой западные и юго-западные.

Морские воздушные массы обуславливают сравнительно мягкую зиму с частыми оттепелями и умеренно-тёплое, иногда прохладное лето. Средняя температура января минус 8...минус 11°С, июля +16...+18°С. Абсолютный максимум температуры +39°С, абсолютный минимум минус 52°С. Наиболее холодными являются восточные районы, наиболее тёплыми - юго-западные.

Количество осадков за год 600 - 700 мм. Наибольшее количество осадков выпадает на возвышенностях, максимум - на Лемболовской. Минимальное количество осадков выпадает на прибрежных низменностях. Наибольшее количество осадков выпадает летом и осенью.

В зимний период осадки выпадают в основном в виде снега. Постоянный снежный покров появляется во второй половине ноября - первой половине декабря. Сходит снег во второй половине апреля.

Климатические условия благоприятны для проведения работ.

В геологическом строении исследуемой территории, по данным бурения и данным архивных скважин до глубины 3,0-5,0 м принимают участие четвертичные отложения, перекрытие с поверхности почвенно-растительным слоем мощностью 0,1 м. Четвертичные отложения представлены современными отложениями ( $Q_{IV}$ ) техногенного генезиса ( $t_{IV}$ ) и морского и озёрного генезиса ( $m, l_{IV}$ ). По результатам выполненных изысканий в пределах глубины бурения (3,0-5,0 м) в соответствии с ГОСТ 25100-95 выделено 3

инженерно-геологических элемента (ИГЭ) с учётом возраста, генезиса, текстурно-структурных особенностей, показателей физико-механических свойств и состава и номенклатурного вида грунтов что согласно СП 11-105-97 соответствует II категории инженерно-геологической сложности.

Гидрогеологические условия характеризуются наличием горизонта подземных вод. Подземные воды приурочены к насыпным и намывным грунтам (ИГЭ 1 и 2) и к пылеватым (ИГЭ 3). В период изысканий (январь 2012 г.) грунтовые воды на участке были зафиксированы во всех скважинах на глубинах 0,5-1,8 м (абсолютные отметки 1,25-2,73 м).

Питание грунтовых вод производится за счет атмосферных осадков, разгрузка водоносного горизонта происходит в близлежащие водоемы.

Нормативная глубина сезонного промерзания для насыпных и намывных грунтов (ИГЭ 1 и 2) составляет 1,39 м (рассчитаны по СНиП 2.02.02-83 п. 2.27).

По результатам химических анализов проб воды, отобранных на участке, грунтовые воды в соответствии со СНиП 2.03.11-85 являются слабоагрессивными по отношению к бетону марки W4 по водонепроницаемости по агрессивной  $CO_2$  и неагрессивными по всем остальным показателям. В соответствии с ГОСТ 9.602-2005, подземные воды обладают средней степенью коррозионной агрессивности по содержанию гумуса и низкой по остальным показателям по отношению к свинцовым оболочкам кабелей. В соответствии с ГОСТ 9.602-2005, подземные воды обладают высокой степенью по содержанию хлора и средней по содержанию железа по отношению к алюминиевым оболочкам кабелей.

По трудности разработки одноковшовым экскаватором все грунты относятся к I группе.

Схема парка с опорами освещения представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема парка Декабристов с опорами освещения



Стоит отметить, что в настоящее время проводится крупная реконструкция парка, включающая в себя вырубку старых деревьев и высадку новых, а также, перекладка дорожек и клумб. К тому же, особое внимание уделено работам по уходу за стелой памяти декабристов.

Парк предназначен для прогулок местных жителей, выгула домашних животных, а также для проведения различных мероприятий.

Выводы по разделу 1.

Установлено, что объектом исследования является Парк Декабристов в Василеостровском административном районе города Санкт–Петербурга.

Так как парковые места отдыха подразумевают присутствие людей в вечернее и ночное время, одна их основных задач – обеспечить требуемую освещенность территории. Причем, при проектировании системы освещения стоит учесть такие факторы, как эффективность и качество освещения.

## 2 Расчет осветительного оборудования

### 2.1 Анализ существующих типов светильников

Как уже говорилось, на эффективность системы освещения влияет ряд факторов, к которым относятся возможность управления освещением и характеристики источника света.

С развитием технологий, все большее применением получают системы управления освещением. Таким системы позволят в автоматическом режиме включать или отключать источники света, а также, поддерживать необходимый уровень освещенности. Автоматическое управление позволяет снизить потребление электроэнергии на освещение до 50% [20].

Сравнительные характеристики различных источников света приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика источников освещения

Тип источника света	Маркировка	Светоотдача, лм/Вт	Срок службы, ч
Лампы накаливания	ЛН	8–18	1000
Галогенные лампы накаливания	КГ	16–24	2000
Ртутно – вольфрамовые лампы	РВЛ	20–28	6000
Ртутные лампы высокого давления	ДРЛ	36–54	12000
Натриевые лампы высокого давления	ДНаГ	90–120	12000
Металлогенные лампы высокого давления	ДРИ	70–90	12000
Люминесцентные лампы низкого давления	ЛБ	60–80	10000
Люминесцентные лампы низкого давления с улучшенной цветопередачей	ЛБЦТ	70–95	10000
Компактные люминесцентные лампы низкого давления	КЛЛ	60–70	9000
Натриевые лампы низкого давления	ДНаО	120–180	12000
Светодиодные лампы	СЛ	60-100	50000

Из таблицы 1 следует, что лампы накаливания, широко применяемые некоторое время назад, имеют параметры, которые в несколько раз уступают другим источникам света.

На смену лампам накаливания пришли люминесцентные лампы. Светоотдача люминесцентных ламп в 5-10 раз выше, чем у ламп накаливания, срок службы в 10 раз превышает срок службы ламп накаливания.

В настоящее время все чаще применяются светодиодные источники света. Разработка светодиодных ламп началась еще в 60-х годах, но технологии того времени не позволяли добиться нужного уровня светоотдачи и ресурса.

По таблице 1 видно, что светодиодные лампы обладают наибольшим сроком службы и высокой светоотдачей по сравнению с остальными источниками света.

Благодаря этому, происходит ежегодный рост объемов выпуска светодиодов.

У светодиодных ламп есть ряд преимуществ [15]:

- потребление электроэнергии ниже в десять раз по сравнению с лампой накаливания и 20% по сравнению с люминесцентными;
- светодиодные лампы не наносят вреда экологии, поэтому утилизация светодиодных ламп не является проблемой, в отличие от люминесцентных ламп;
- светодиодные лампы не создают опасности взрыва или пожара;
- большой выбор цветовой гаммы излучения;
- светодиодные лампы обладают высоким КПД, по сравнению с остальными источниками освещения. Лишь натриевые лампы обладают более высоким КПД, но этот тип ламп не пригоден к использованию в жилых помещениях;
- высокая механическая прочность, вибростойкость (отсутствие нити накаливания и иных чувствительных составляющих);

- сверхдолгий срок работы – до 100 тыс. ч. Но и он не бесконечен — при длительной работе и/или плохом охлаждении происходит «отравление» кристалла и постепенное падение яркости;
- спектр современных люминофорных диодов аналогичен спектру люминесцентных ламп, которые давно используются в быту. Схожесть спектра обусловлена тем, что в этих светодиодах также используется люминофор, преобразующий ультрафиолетовое или синее излучение в видимое с хорошим спектром;
- малая инерционность;
- малый угол излучения – также может быть как достоинством, так и недостатком;
- безопасность – не требуются высокие напряжения.

Недостатки ламп на светодиодах [15]:

- основной недостаток – высокая цена. Отношение цена/люмен у сверхъярких светодиодов в 50 – 100 раз больше, чем у обычной лампы накаливания;
- низкая предельная температура: мощные осветительные светодиоды требуют внешнего радиатора для охлаждения, потому что имеют неблагоприятное соотношение своих размеров к выделяемой тепловой мощности (они слишком мелкие) и не могут рассеять столько тепла, сколько выделяют (несмотря даже на более высокий КПД, чем у ламп накаливания).;
- для питания светодиода от питающей сети необходим низковольтный источник питания постоянного тока, тоже с радиатором, что дополнительно увеличивает объём светильника, а его наличие дополнительно снижает общую надёжность и требует дополнительной защиты. Поэтому многие разработчики ограничиваются выпрямителем, а светодиоды включают последовательно;

- высокий коэффициент пульсаций светового потока при питании напрямую от сети промышленной частоты без сглаживающего конденсатора, при его наличии пульсации малы;
- дешёвые массовые LED имеют светоотдачу 60-100 лм/Вт;
- спектр отличается от солнечного.

Среди обилия выпускаемых светильников экономичность энергосбережения довольно часто выпадает из поля зрения конструкторов. Расход электроэнергии на освещение может быть сокращен на 10–25% за счет замены ламп накаливания на светодиодные, рационального освещения в квартирах и правильной эксплуатации светильников [17].

## **2.2 Выбор светильников городского наружного освещения**

Современные опоры для установки уличных светильников – это сложные сооружения, которые надо рассматривать всесторонне: как архитектурное сооружение, с точки зрения их непосредственного назначения, т.е. установки на них светильников в определенном положении и их эксплуатации, а также с точки зрения конструкции, материалов, из которых они изготавливаются, и наружной отделки.

Опоры для установки светильников несут точную функциональную службу, являются неотъемлемым элементом архитектуры города, очень ярко выявляющим ее характер, что проявляется в общей художественной форме, в орнаментации, в применяемых материалах и отделке.

Фонари на территории парка крепятся на торшерные опоры (рисунок 2).

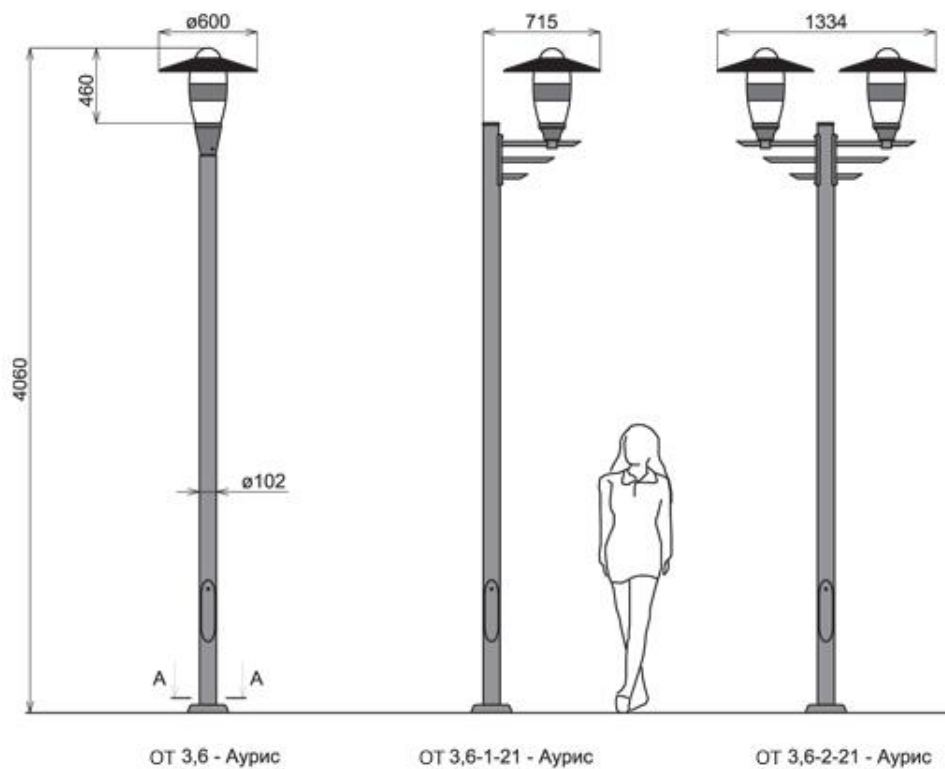


Рисунок 2 –Торшерные опоры

Опоры торшерные предназначены для функционально-декоративного освещения парков, скверов, аллей, дворовых территорий, автостоянок.

На опорах освещения установлены светильники ДТУ-70.

Внешний вид светильника ДТУ-70 приведен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Светильник ДТУ-70

Расшифровка аббревиатуры ДТУ 03-42-001, ДТУ 03-60-002:

- Д – светодиодная лампа;
- Т — торшерный;
- У — предназначен для уличного (наружного) освещения;
- 42/60 — номинальная мощность лампы (Вт);
- 001/002 – рассеиватель молочно-белый/призматический.

Источником света в данном светильнике является светодиодная лампа ArchiMet мощностью 42 Вт или 60 Вт.

Технические характеристики выбранных светодиодных ламп приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики светодиодных ламп ArchiMet мощностью 42 Вт или 60 Вт

Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Средняя продолжительность горения, ч
42	3600	86	17000
60	7000	117	17000

Таким образом, для освещения объекта будут использоваться современные светильники с энергосберегающими светодиодными лампами.

### **2.3 Расчет количества светильников городского наружного освещения**

При проектировании системы освещения использовалось программное обеспечение Philips Lighting B.V. - CalcuLuX Освещение открытых площадок  
7.6.2.0

Для обеспечения нормируемой средней горизонтальной освещённости на детской площадке, входах и аллеях в Парке Декабристов проектом предусматривается установка металлических опор паркового типа с энергосберегающими светодиодными светильниками мощностью 42 Вт и 60 Вт, при высоте установки 4,5 м и 6,6 м соответственно. Средний шаг между опорами равен 23 м.

В соответствии с требованиями СП 52.13330.2011 нормируемая средняя горизонтальная освещённость на детских площадках должна быть не менее 10 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,3), на главных и вспомогательных входах в парках - не менее 6 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,2), на центральных аллеях – не менее 4 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,2), на боковых аллеях и вспомогательных входах – не менее 2 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,1).

Далее будет рассмотрен участок парка в районе памятника – рисунок 4 (далее на схемах расстановки опор, светильники мощностью 42 Вт будут обозначены красным цветом, светильники мощностью 60 Вт – синим цветом).

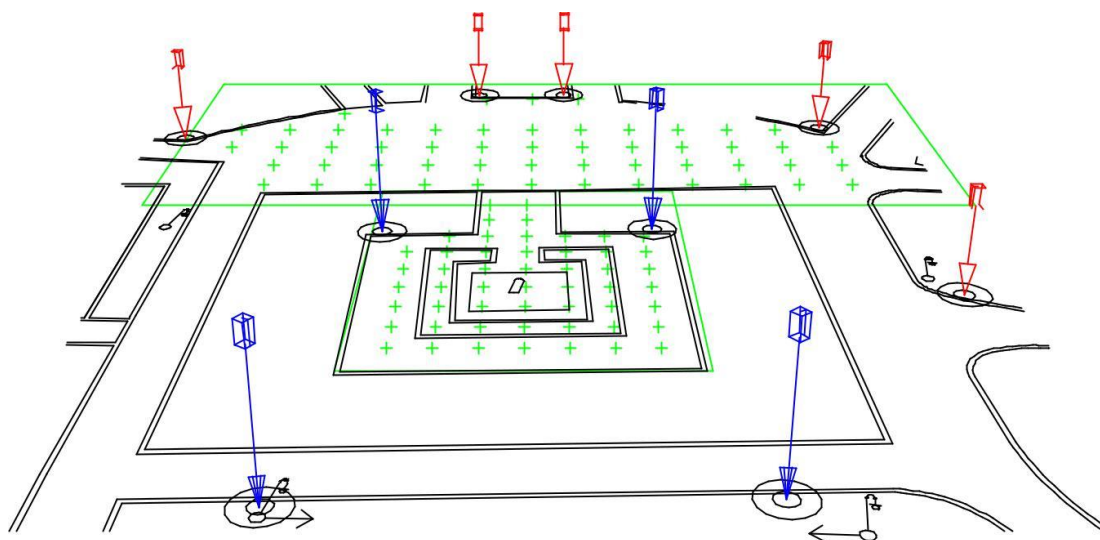


Рисунок 4 – Расстановка светильников в районе памятника

Мощность системы освещения рассматриваемого участка в районе памятника приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Мощность системы освещения в районе памятника

Мощность ламп, Вт	Количество, шт.	Общая мощность, Вт
42	5	210
60	4	240
Итого:	9	450

Освещенность участка парка в рассматриваемого участка в районе памятника приведена в таблице 4.



Таблица 4 – Освещенность участка парка в рассматриваемого участка в районе памятника

Участок	Равномерность освещенности	Средняя освещенность, лк.
Памятник	0,32	12,3
Перед памятником	0,31	12,2

Таким образом, в рассматриваемом участке обеспечивается требуемая освещенность.

Далее будет рассмотрен участок парка в районе детской площадки – рисунок 5.

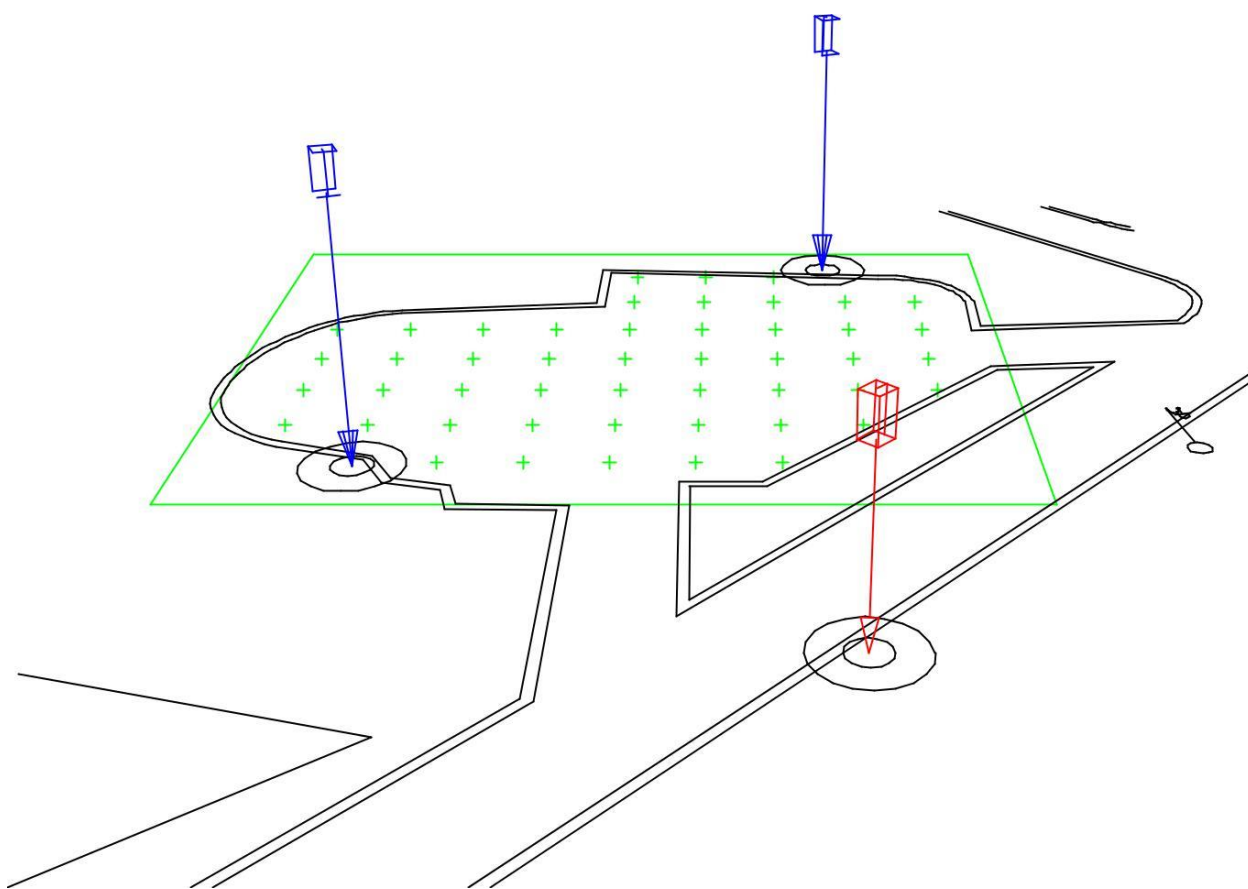


Рисунок 5 – Расстановка светильников в районе детской площадки

Мощность системы освещения рассматриваемого участка в районе детской площадки приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Мощность системы освещения в районе детской площадки

Мощность ламп, Вт	Количество, шт.	Общая мощность, Вт
42	1	42
60	2	120
Итого:	3	162

Освещенность участка парка в рассматриваемого участка в районе детской площадки приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Освещенность участка парка в рассматриваемого участка в районе детской площадки

Участок	Равномерность освещенности	Средняя освещенность, лк.
Детская площадка	0,42	16,1

Таким образом, в рассматриваемом участке обеспечивается требуемая освещенность.

Далее будет рассмотрен участок парка в районе клумбы – рисунок 6.

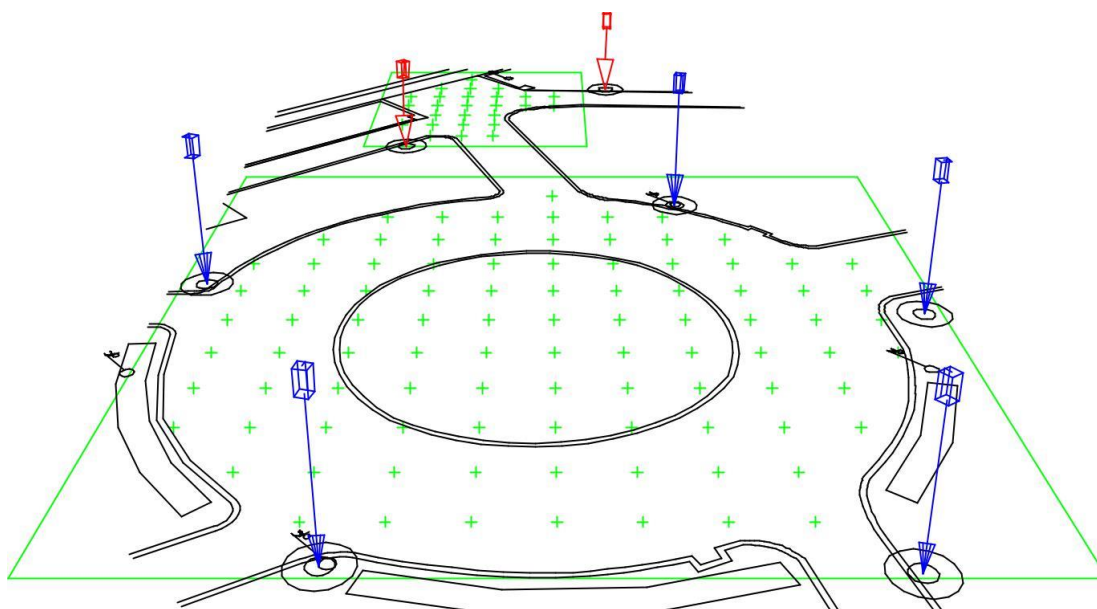


Рисунок 6 – Расстановка светильников в районе клумбы

Мощность системы освещения рассматриваемого участка в районе клумбы приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Мощность системы освещения в районе клумбы

Мощность ламп, Вт	Количество, шт.	Общая мощность, Вт
42	2	84
60	5	300
Итого:	7	384

Освещенность участка парка в рассматриваемого участка в районе клумбы приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Освещенность участка парка в рассматриваемого участка в районе клумбы

Участок	Равномерность освещенности	Средняя освещенность, лк.
Клумба	0,34	15,6
Перед клумбой	0,42	14,3

Таким образом, в рассматриваемом участке обеспечивается требуемая освещенность.

Далее будет рассмотрен участок парка в районе входа– рисунки 7-9.

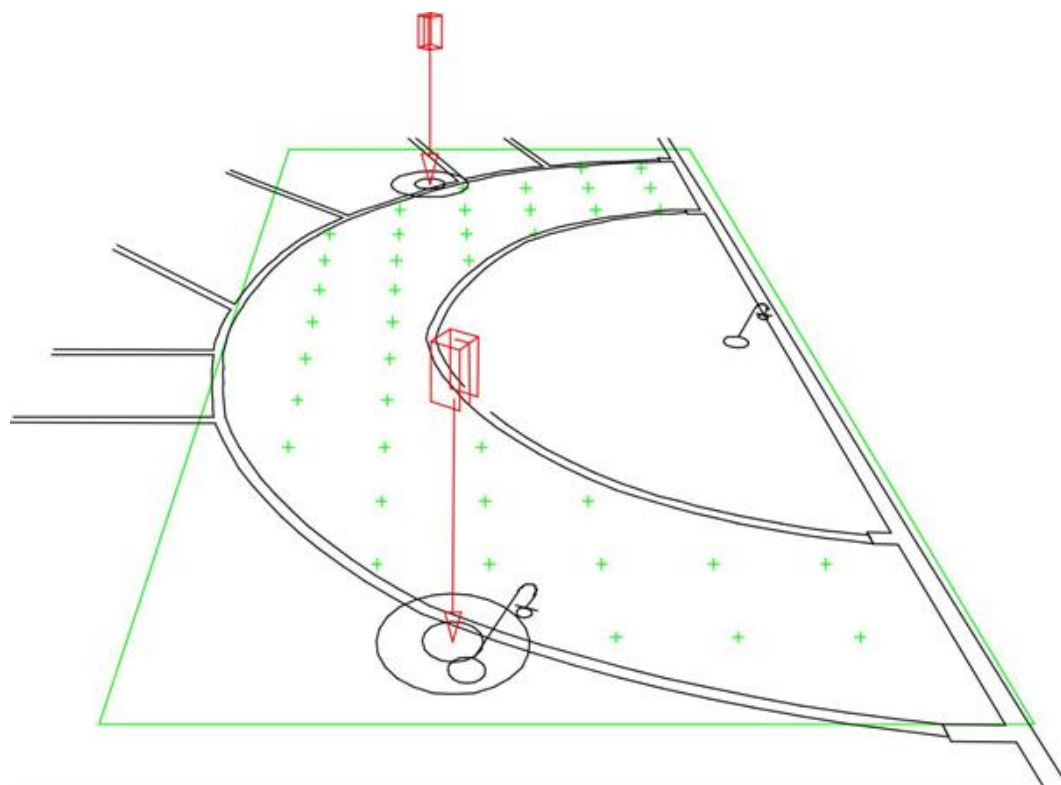


Рисунок 7 – Расстановка светильников в районе входа (участок 1)

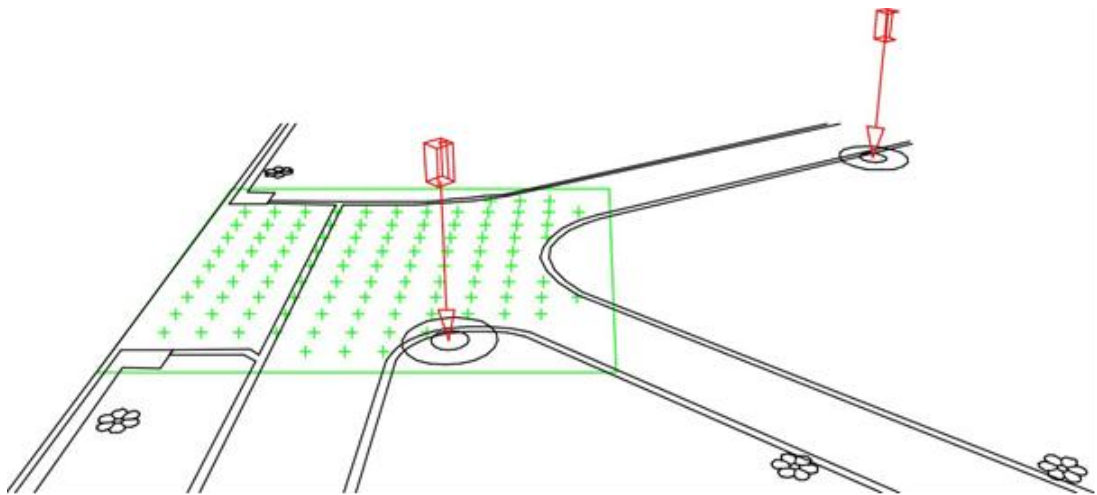


Рисунок 8 – Расстановка светильников в районе входа (участок 2)

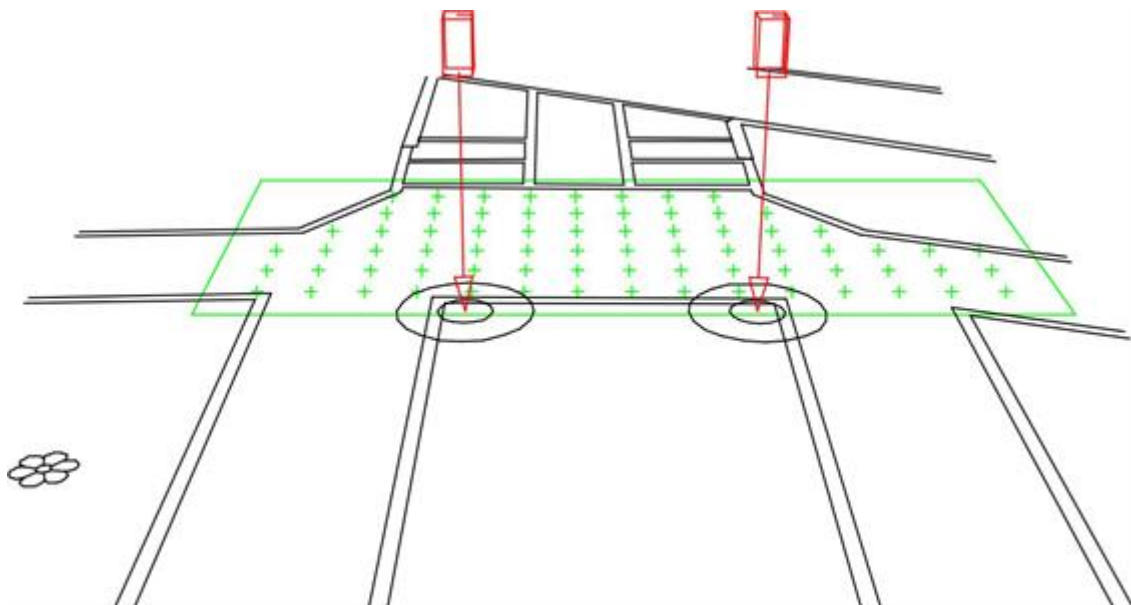


Рисунок 9 – Расстановка светильников в районе входа (участок 3)

Мощность системы освещения рассматриваемого участка в районе входа приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Мощность системы освещения в районе входа

Мощность ламп, Вт	Количество, шт.	Общая мощность, Вт
42	6	252
Итого:	6	252

Освещенность участка парка в рассматриваемого участка в районе входа приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Освещенность участка парка в рассматриваемого участка в районе входа

Участок	Равномерность освещенности	Средняя освещенность, лк.
Участок 1	0,25	12,1
Участок 2	0,31	12,8
Участок 3	0,39	14,6

Таким образом, в рассматриваемом участке обеспечивается требуемая освещенность.

Для остальных участков парка проектирование осуществляется аналогичным образом.

Сводная ведомость нагрузки приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Сводная ведомость нагрузки парка

Мощность ламп, Вт	Количество, шт.	Общая мощность, Вт
42	97	4074
60	11	660
Итого:	108	4734

Как видно по таблице 10, для обеспечения требуемого уровня освещенности Парка Декабристов потребуется 97 светодиодных ламп ArchiMet мощностью 42 Вт и 11 светодиодных ламп мощностью 60 Вт.

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения раздела сделаны следующие выводы, приведённые ниже.

В настоящее время все чаще применяются светодиодные источники света. Светодиодные лампы обладают наибольшим сроком службы и высокой светоотдачей по сравнению с остальными источниками света.

Для освещения территории парка выбраны светильники ДТУ 03-42-001 и ДТУ 03-60-002. Источником света в данном светильнике является

светодиодная лампа ArchiMet мощностью 42 Вт или 60 Вт. Таким образом, для освещения объекта будут использоваться современные светильники с энергосберегающими светодиодными лампами.

При проектировании системы освещения использовалось программное обеспечение Philips Lighting B.V. - CalcuLuX Освещение открытых площадок 7.6.2.0.

Для обеспечения нормируемой средней горизонтальной освещённости на детской площадке, входах и аллеях в Парке Декабристов проектом предусматривается установка металлических опор паркового типа с энергосберегающими светодиодными светильниками мощностью 42 Вт и 60 Вт, при высоте установки 4,5 м и 6,6 м соответственно. Средний шаг между опорами равен 23 м.

В соответствии с требованиями СП 52.13330.2011 нормируемая средняя горизонтальная освещённость на детских площадках должна быть не менее 10 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,3), на главных и вспомогательных входах в парках - не менее 6 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,2), на центральных аллеях – не менее 4 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,2), на боковых аллеях и вспомогательных входах – не менее 2 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,1).

Для обеспечения требуемого уровня освещенности потребуется 97 ламп ArchiMet мощностью 42 Вт и 11 ламп мощностью 60 Вт.

По результатам моделирования было установлено, что равномерность освещенности и средняя освещенность участков отвечают требованиям СП 52.13330.2011.

### **3 Расчет системы электроснабжения**

#### **3.1 Расчет нагрузки городского наружного освещения**

На стадии проектирования очень важно верно определить электрические нагрузки объекта проектирования, так как от этого зависит выбор оборудования системы электроснабжения [12-13].

Первоначальным этапом проектирования системы электроснабжения является расчет электрических нагрузок, так как в дальнейшем в зависимости от нагрузки энергосистемы выполняется выбор оборудования. Если неправильно оценить мощность того или иного объекта, можно выбрать оборудование другого номинала, что приведет либо к перерасходу денежных средств, либо к ложным отключением коммутационных аппаратов или, в крайнем случае, к их выходу из строя [2].

Варианты построения схем электроснабжения можно условно разделить на три типа: [18]:

- радиальные (в данном случае каждый узел подключен непосредственно к центру питания);
- магистральные (в данном случае каждый узел подключается к предыдущему, таким образом, все потребители подключаются к одной линии);
- смешанные (в данном случае одновременно применяются радиальные и магистральные схемы).

В данном случае будет применена смешанная схема. Это значит, что от центра питания будет отходить несколько линии (в данном случае – три), питающих свою группу светильников.

На первоначальном этапе нужно распределить нагрузку на ли

Вся нагрузка освещения парка будет разделена на 3 отходящие линии.

В таблице 12 приведены исходные данные для расчетов.

Таблица 12 – Исходные данные для расчетов нагрузки городского освещения

Линия	Кол-во ламп мощностью 42 Вт, шт.	Кол-во ламп мощностью 60 Вт, шт.	Общая мощность, кВт
1	33	4	1,62
2	33	2	1,51
3	31	5	1,60
Итого:	97	11	4,73

В проекте величина потерь в светильниках составляет 8%.

В трехфазной сети с нулевым проводом при равномерной нагрузке фаз определяется по формуле [19]:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \quad (1)$$

где  $P$  – активная мощность нагрузки одной, двух или трех фаз, кВт;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки;

$U$  – напряжение сети, В.

В таком случае, согласно формуле 1, ток линии №1 составит:

$$I = \frac{1,62 \cdot 1,08}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 2,78 \text{ А.}$$

В таком случае, согласно формуле 1, ток линии №2 составит:

$$I = \frac{1,51 \cdot 1,08}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 2,60 \text{ А.}$$

В таком случае, согласно формуле 1, ток линии №3 составит:

$$I = \frac{1,60 \cdot 1,08}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 2,75 \text{ А.}$$



При расчете общего тока щита управления освещением нужно учесть стороннюю нагрузку 2,24 кВт. Тогда:

$$I = \frac{(1,62 + 1,51 + 1,60) \cdot 1,08 + 2,24}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 12,0 \text{ А.}$$

Результаты расчетов будут сведены в таблицу 13.

Таблица 13 – Результаты расчетов нагрузки городского освещения

Линия	Мощностью линии, кВт	Мощность с учетом потерь, кВт	Ток линии, А
1	1,62	1,75	2,78
2	1,51	1,63	2,60
3	1,60	1,73	2,75
Щит управления	6,97	7,35	12,0

На следующем этапе проектирования необходимо выбрать схему электроснабжения и защитное оборудование питающих линий.

### 3.2 Выбор схемы электроснабжения

Питание сети Парка Декабристов предусматривается от кабельного киоска 739 ТП 1459. Категория электроприёмников – III. Напряжение сети 380/220 В. Сеть освещения выполнить кабелем ПвВГ в земле в двустенных гофрированных трубах ПНД/ПВД d = 50мм.

Пересечение тротуара выполнить открытым способом.

Управление наружным освещением централизованное, каскадное с единого диспетчерского пульта.

Компенсация реактивной мощности не требуется, т.к.  $\cos \varphi = 0,95$ .

Строительство электроосвещения наружного производить в соответствии с требованиями [10] и СНиП 3.05.06.

При прокладке по конструкциям, стенам, перекрытиям кабели жестко закрепляют в конечных точках у концевых разделок, с обеих сторон их закрепляют на изгибах и у соединительных муфт [7].

При вертикальной прокладке по конструкциям и стенам кабели должны быть закреплены так, чтобы не происходила деформация оболочек и не разрушались соединения жил в муфтах под действием собственного веса кабелей [16].

В местах, где возможны механические повреждения, кабели должны быть защищены на высоте 2 м от уровня пола или земли [4-5].

При открытой прокладке кабели должны быть защищены от непосредственного воздействия солнечных лучей и от теплоизлучения других источников тепла.

Открыто проложенные кабели, а также все муфты и заделки должны быть снабжены бирками с указанием на них марки, напряжения и обозначения, а на бирках соединительных муфт и концевых заделок даты монтажа и фамилии монтера, выполнившего работу по монтажу [9].

Ширина траншеи по дну должна быть не менее 350 мм для одного кабеля и 600 мм для трех. Кабельные линии монтировать так, чтобы в процессе монтажа и эксплуатации в кабелях не возникали механические напряжения и не было случаев их повреждений [8].

Схема электроснабжения представлена на рисунке 10.



### 3.3 Расчет линии 0,4 кВ

Как уже говорилось выше, для распределительной системы освещения Парка Декабристов выбран четырехжильный кабель ПвВГ.

Расшифровка марки ПвВГ:

- отсутствие в начале маркировки буквы «А» говорит о том, что кабель выполнен из меди;
- Пв – изоляция кабельной линии выполнена из сшитого полиэтилена;
- В – оболочка кабельной линии выполнена из поливинилхлоридного пластика;
- Г – защитный покров кабельной линии отсутствует.

Выбор марки кабельной линии был основан на материале изготовления, так как медь ряд преимуществ:

- срок эксплуатации порядка 50 лет;
- хорошая электропроводность;
- устойчивость к переломам и изгибам, а также надежность.

В тоже время, кабельные линии из сшитого полиэтилена являются самыми распространенными в настоящее время

Выбор и проверка кабельных линий 0,4 кВ выполняется по нескольким условиям.

Далее будет выполнен расчёт проводников по экономической плотности тока. В данном случае выполняется сравнение сечения кабельной линии с нормативными значениями.

Согласно [10] сечения проводников должны быть проверены по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение  $S$  (мм<sup>2</sup>) определяется из соотношения [11]:

$$S = \frac{I}{j_{ЭК}}, \quad (2)$$

где  $I$  – расчётный ток в час максимума энергосистемы (А);

$j_{ЭК}$  – нормированное значение экономической плотности тока (А/мм<sup>2</sup>), для заданных условий работы, выбираемое из таблицы 4 ПУЭ до ближайшего стандартного сечения.

Расчётный ток принимается для нормального режима работы, то есть увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах сети не учитывается.

Сечение, полученной в результате указанного расчёта, округляется.

Далее будет произведен расчет сечения проводника для питающего кабеля щита освещения:

$$\begin{aligned}j_{ЭК} &= 3,1 \text{ А/мм}^2, \\I &= 12,0 \text{ А}, \\S &= \frac{12,0}{3,1} = 3,87 \text{ мм}^2.\end{aligned}$$

Далее будет произведен расчет сечения проводника для группового кабеля линии 1:

$$\begin{aligned}j_{ЭК} &= 3,1 \text{ А/мм}^2, \\I &= 2,78 \text{ А}, \\S &= \frac{2,78}{3,1} = 0,89 \text{ мм}^2.\end{aligned}$$

Далее будет произведен расчет сечения проводника для группового кабеля линии 2:

$$\begin{aligned}j_{ЭК} &= 3,1 \text{ А/мм}^2, \\I &= 2,60 \text{ А},\end{aligned}$$

$$S = \frac{2,60}{3,1} = 0,84 \text{ мм}^2.$$

Далее будет произведен расчет сечения проводника для группового кабеля линии 3:

$$\begin{aligned}j_{\text{ЭК}} &= 3,1 \text{ А/мм}^2, \\I &= 2,75 \text{ А}, \\S &= \frac{2,75}{3,1} = 0,89 \text{ мм}^2.\end{aligned}$$

Сечение проводника для питающего кабеля принимается  $S = 50 \text{ мм}^2$  и групповых кабелей  $S = 16 \text{ мм}^2$ .

Далее необходимо проверить выбранные кабельные линии на потери напряжения.

В данном случае будет выполнено сравнение фактических потерь напряжения в конце кабельной линии с нормативными значениями. Согласно [1] потери напряжения на зажимах электрооборудования не должны превышать 10%. Большие потери напряжения в сети приведут к увеличению силы тока и дальнейшему выходу из строя оборудования (светодиодных светильников).

Величина падения напряжения определяется по формуле [6]:

$$\Delta U = \left(\frac{P1}{2} + P2\right) \cdot \frac{L}{S \cdot k}, \quad (3)$$

где  $P1$  – мощность на расчётном участке с учётом потерь в ПРА, кВт;

$P2$  – мощность, подключённая к концу расчётного участка, кВт;

$L$  – длина участка, м;

$S$  – сечение фазы проводника,  $\text{мм}^2$ ;

$k$  – коэффициент проводника (Cu – 72, Al – 44).

Далее будет произведен расчет падения напряжения для питающего кабеля щита освещения:

$$\Delta U = 7,36 \cdot \frac{72}{50 \cdot 72} = 0,15\%.$$

Потери напряжения для питающего кабеля щита освещения меньше 10%, таким образом, кабельная линия отвечает требованиям проверок.

Далее будет произведен расчет падения напряжения для группового кабеля линии 1:

$$\Delta U = \left[ \frac{1,75}{2} \cdot \frac{1036}{16 \cdot 72} \right] + \left[ 1,75 \cdot \frac{9}{16 \cdot 72} \right] + 0,15 = 0,95\%.$$

Потери напряжения для группового кабеля линии 1 меньше 10%, таким образом, кабельная линия отвечает требованиям проверок.

Далее будет произведен расчет падения напряжения для группового кабеля линии 2:

$$\Delta U = \left[ \frac{1,63}{2} \cdot \frac{1069}{16 \cdot 72} \right] + \left[ 1,63 \cdot \frac{38}{16 \cdot 72} \right] + 0,15 = 0,96\%.$$

Потери напряжения для группового кабеля линии 2 меньше 10%, таким образом, кабельная линия отвечает требованиям проверок.

Далее будет произведен расчет падения напряжения для группового кабеля линии 3:

$$\Delta U = \left[ \frac{0,99}{2} \cdot \frac{436}{16 \cdot 72} \right] + \left[ \left( \frac{0,05}{2} + 1,68 \right) \cdot \frac{33}{16 \cdot 72} \right] + \left[ 1,73 \cdot \frac{149}{16 \cdot 72} \right] + 0,15 = 0,61\%.$$

Потери напряжения для группового кабеля линии 3 меньше 10%, таким образом, кабельная линия отвечает требованиям проверок.

Далее будет выбрано защитное оборудование для отходящих линий. В данном случае, для защиты от сверхтоков, в том числе, токов КЗ, будут выбраны плавкие предохранители.

### **3.4 Выбор оборудования РУ-0,4 кВ**

Установка аппарата защиты во всех случаях должна быть выполнена так, чтобы при оперировании с ними или при их автоматическом действии была исключена опасность для обслуживающего персонала и повреждения окружающих предметов [3].

Для защиты отходящих линий освещения будут использоваться плавкие предохранители ППН-35. К основным достоинствам плавких предохранителей ППН можно отнести:

- широкий диапазон нормальных токов;
- материал изготовления – медь, что позволяет обеспечить экономичность, долговечность, надежность, токопроводность, а также, широкий диапазон защитных характеристик и защиту от токов перегрузок и короткого замыкания.

Плавкие предохранители серии ППН предназначены для защиты электроустановок различного назначения напряжением до 500 В и частотой 50 Гц.

Выбор плавких вставок основан на рабочем токе защищаемой линии. То есть:

$$I_{ПН} \geq I_{линии}. \quad (4)$$



Для отходящих линий выбраны плавкие предохранители номинальным током 4 А.

Таким образом, для линии 1:

$$I_{ПН} = 4 \geq I_{линии} = 2,78.$$

Условие выполняется.

Для линии 2:

$$I_{ПН} = 4 \geq I_{линии} = 2,60.$$

Условие выполняется.

Для линии 3:

$$I_{ПН} = 4 \geq I_{линии} = 2,75.$$

Условие выполняется.

Для щита управления освещением выбраны плавкие предохранители номинальным током 16 А:

$$I_{ПН} = 16 \geq I_{линии} = 12,0.$$

Условие выполняется.

Далее будет выполнен расчет времени срабатывания защиты.

Ток ожидаемого короткого замыкания определяется по формуле:

$$I_{КЗ} = \frac{U}{Z_{\Pi}} + Z_{ТР}, \quad (5)$$

где  $U$  – фазное напряжение сети, В;

$Z_{\Pi}$  – полное сопротивление петли «фаза-ноль» линии до наиболее удалённой точки сети, Ом;

$Z_{TP}$  – сопротивление трансформатора при однофазном коротком замыкании, Ом.

Полное сопротивление петли «фаза-ноль» линии до наиболее удалённой точки сети определяется по формуле [14]:

$$Z_{\Pi} = p \cdot \left( \frac{L}{S_1} + \frac{L}{S_2} \right), \quad (6)$$

где  $p$  – удельное сопротивление проводника (Cu – 0,0178 Ом×мм<sup>2</sup>/м,

Al – 0,0281 Ом×мм<sup>2</sup>/м);

$L$  – длина участка, м;

$S_1$  – сечение фазы проводника, мм<sup>2</sup>;

$S_2$  – сечение нулевого проводника, мм<sup>2</sup>.

Таким образом, ток ожидаемого короткого замыкания для плавкой вставки, защищаемой щит управления освещением составит:

$$I_{KЗ} = \frac{220}{0,0178 \cdot \frac{2 \cdot 72}{50}} + 0,0056 = 3093 \text{ А.}$$

Ток ожидаемого короткого замыкания для плавкой вставки, защищаемой линию 1 составит:

$$I_{KЗ} = \frac{220}{0,0178 \cdot \left( \frac{2 \cdot 1036}{16} + \frac{2 \cdot 9}{16} \right)} + 0,0056 = 99 \text{ А.}$$

Ток ожидаемого короткого замыкания для плавкой вставки, защищаемой линией 2 составит:

$$I_{кз} = \frac{220}{0,0178 \cdot \left( \frac{2 \cdot 1069}{16} + \frac{2 \cdot 38}{16} \right)} + 0,0056 = 93 \text{ А.}$$

Ток ожидаемого короткого замыкания для плавкой вставки, защищаемой линией 3 составит:

$$I_{кз} = \frac{220}{0,0178 \cdot \left( \frac{2 \cdot 585}{16} + \frac{2 \cdot 33}{16} \right)} + 0,0056 = 134 \text{ А.}$$

Зона время-токовых характеристик ППН-35 для плавких предохранителей отходящих линий приведены на рисунке 11.

Зона время-токовых характеристик ППН-35 для плавких предохранителей щита управления освещением приведены на рисунке 12.

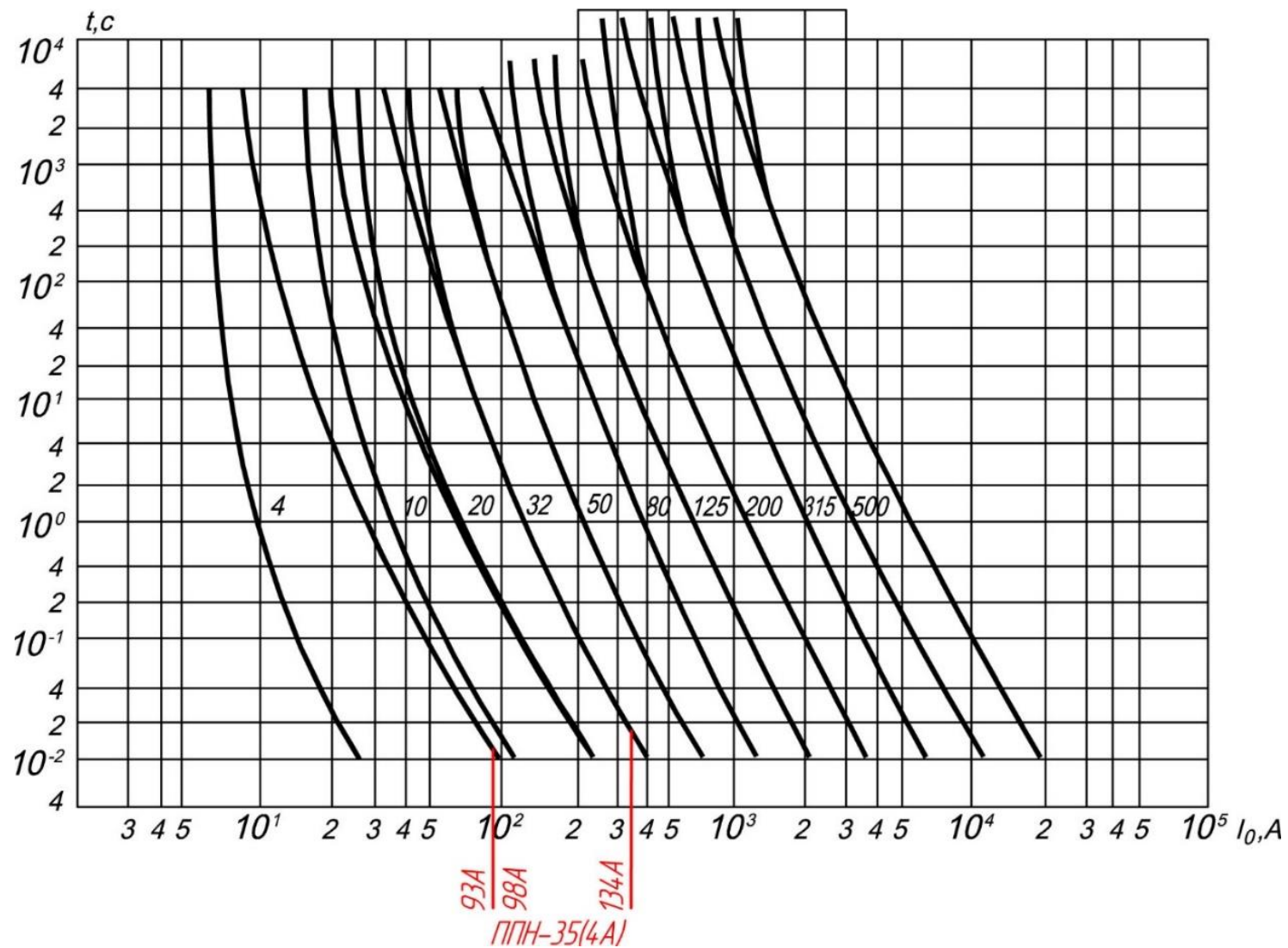


Рисунок 11 – Зона время-токовых характеристик ППН-35 для плавких предохранителей отходящих линий

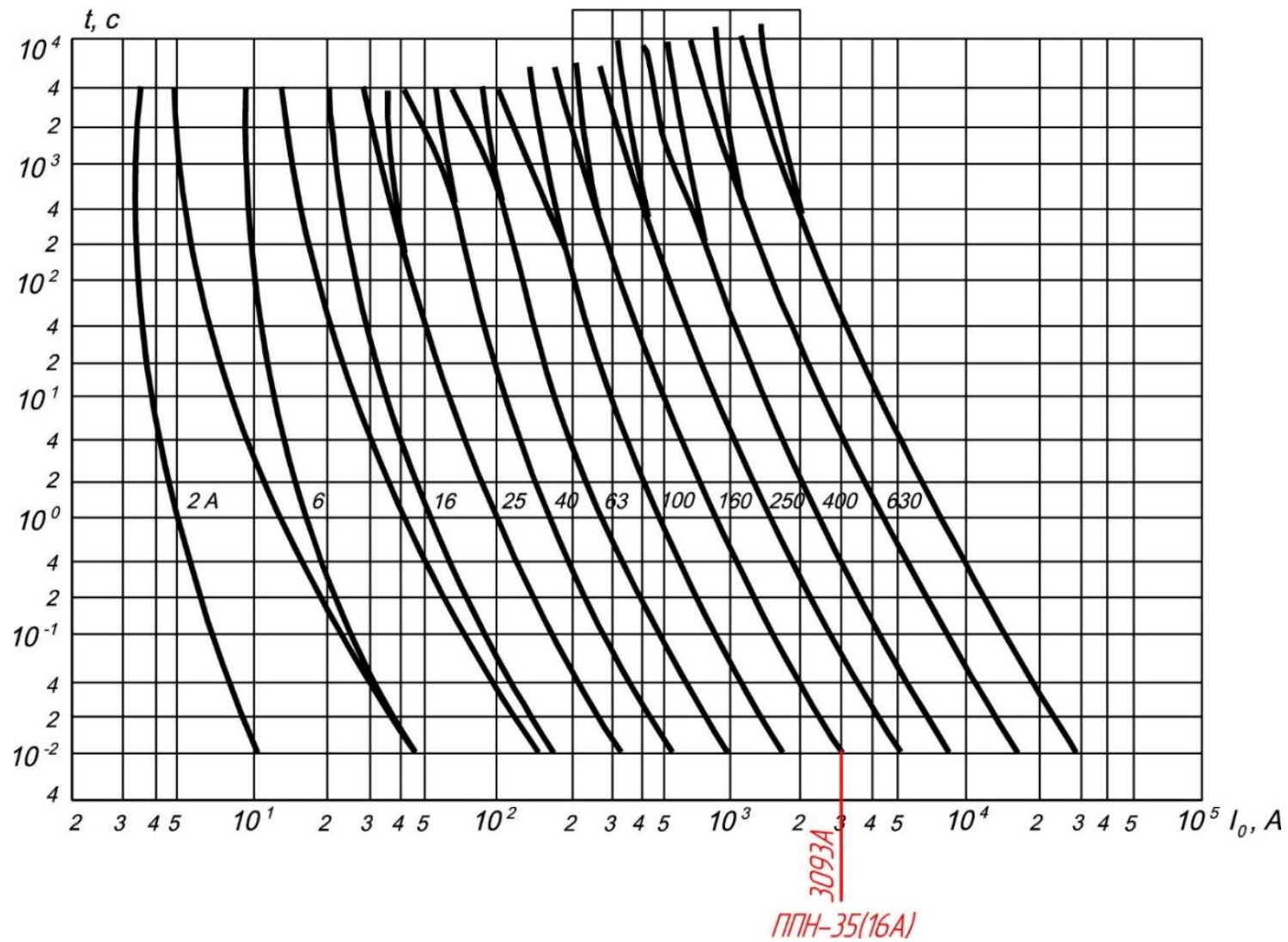


Рисунок 12 – Зона время-токовых характеристик ППН-35 для плавких предохранителей щита управления освещением

Как видно на рисунке 11, время срабатывания плавких предохранителей менее 0,4 с.

Как видно на рисунке 12, время срабатывания плавких предохранителей менее 0,4 с.

Выводы по разделу 3.

На стадии проектирования очень важно верно определить электрические нагрузки объекта проектирования, так как от этого зависит выбор оборудования системы электроснабжения

Варианты построения схем электроснабжения можно условно разделить на три типа:

- радиальные (в данном случае каждый узел подключен непосредственно к центру питания);
- магистральные (в данном случае каждый узел подключается к предыдущему, таким образом, все потребители подключаются к одной линии);
- смешанные (в данном случае одновременно применяются радиальные и магистральные схемы).

В данном случае будет применена смешанная схема. Это значит, что от центра питания будет отходить несколько линии (в данном случае – три), питающих свою группу светильников.

Вся нагрузка освещения парка будет разделена на 3 отходящие кабельные линии.

Управление наружным освещением централизованное, каскадное с единого диспетчерского пульта.

Компенсация реактивной мощности не требуется, так как  $\cos \varphi = 0,95$ .

Питание сети Парка Декабристов предусматривается от кабельного киоска 739 ТП 1459. Категория электроприёмников – III. Напряжение сети 380/220 В.

Для распределительной системы освещения Парка Декабристов выбран четырехжильный кабель ПвВГ в земле в двустенных гофрированных трубах ПНД/ПВД  $d = 50\text{мм}$ .

Сечение проводника для питающего кабеля принимается  $S = 50\text{ мм}^2$  и групповых кабелей  $S = 16\text{ мм}^2$ .

По результатам расчетов можно сделать вывод, что потери в питающих линиях не превышают 10%, допустимые ГОСТ 32144-2013. Таким образом, кабельные линии отвечают требованиям проверок.

Для защиты отходящих линий освещения будут использоваться плавкие вставки ППН-35.

Для отходящих линий выбраны плавкие предохранители номинальным током 4 А. Для щита управления освещением выбраны плавкие предохранители номинальным током 16 А.

По результатам расчетов было установлено, что время срабатывания плавких предохранителей менее 0,4 с.

## Заключение

В результате написания работы была достигнута цель работы – проекта системы городского наружного освещения парка Декабристов в Василеостровском административном районе города Санкт–Петербурга.

В соответствии с поставленной целью решены следующие задачи:

- выбран тип и мощность источников освещения;
- выполнен расчет электрических нагрузок;
- выбраны линии электроснабжения;
- выбрано защитное оборудования линия питания системы освещения.

Для решения поставленных задач работа разделена на три главы.

В первой главе приведено описание объекта – установлено, что объектом исследования является Парк Декабристов в Василеостровском административном районе города Санкт–Петербурга.

Во второй главе проведен выбор источников освещения и определено их количество.

В настоящее время все чаще применяются светодиодные источники света. Светодиодные лампы обладают наибольшим сроком службы и высокой светоотдачей по сравнению с остальными источниками света.

Для освещения территории парка выбраны светильники ДТУ 03-42-001 и ДТУ 03-60-002. Источником света в данном светильнике является светодиодная лампа ArchiMet мощностью 42 Вт или 60 Вт. Таким образом, для освещения объекта будут использоваться современные светильники с энергосберегающими светодиодными лампами.

При проектировании системы освещения использовалось программное обеспечение Philips Lighting B.V. - CalcuLuX Освещение открытых площадок 7.6.2.0.

Для обеспечения нормируемой средней горизонтальной освещённости на детской площадке, входах и аллеях в Парке Декабристов проектом предусматривается установка металлических опор паркового типа с



энергосберегающими светодиодными светильниками мощностью 42 Вт и 60 Вт, при высоте установки 4,5 м и 6,6 м соответственно. Средний шаг между опорами равен 23 м.

В соответствии с требованиями СП 52.13330.2011 нормируемая средняя горизонтальная освещённость на детских площадках должна быть не менее 10 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,3), на главных и вспомогательных входах в парках - не менее 6 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,2), на центральных аллеях – не менее 4 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,2), на боковых аллеях и вспомогательных входах – не менее 2 лк ( $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$  не менее 0,1).

Для обеспечения требуемого уровня освещенности потребуется 97 ламп ArchiMet мощностью 42 Вт и 11 ламп мощностью 60 Вт.

По результатам моделирования было установлено, что равномерность освещенности и средняя освещенность участков отвечают требованиям СП 52.13330.2011.

В третьей главе выполнен расчет системы электроснабжения освещения объекта.

На стадии проектирования очень важно верно определить электрические нагрузки объекта проектирования, так как от этого зависит выбор оборудования системы электроснабжения

Варианты построения схем электроснабжения можно условно разделить на три типа:

- радиальные (в данном случае каждый узел подключен непосредственно к центру питания);
- магистральные (в данном случае каждый узел подключается к предыдущему, таким образом, все потребители подключаются к одной линии);
- смешанные (в данном случае одновременно применяются радиальные и магистральные схемы).

В данном случае будет применена смешанная схема. Это значит, что от центра питания будет отходить несколько линии (в данном случае – три), питающих свою группу светильников.

Вся нагрузка освещения парка будет разделена на 3 отходящие линии.

Питание сети Парка Декабристов предусматривается от кабельного киоска 739 ТП 1459. Категория электроприёмников – III. Напряжение сети 380/220 В. Сеть освещения выполнить кабелем ПвВГ 4×16 в земле в двустенных гофрированных трубах ПНД/ПВД  $d = 50\text{мм}$ .

Сечение проводника для питающего кабеля принимается  $S = 50\text{ мм}^2$  и групповых кабелей  $S = 16\text{ мм}^2$ .

По результатам расчетов можно сделать вывод, что потери в питающих линиях не превышают 10%, допустимые ГОСТ 32144-2013. Таким образом, кабельные линии отвечают требованиям проверок.

Для защиты отходящих линий освещения будут использоваться плавкие вставки ППН-35.

Для отходящих линий выбраны плавкие предохранители номинальным током 4 А. Для щита управления освещением выбраны плавкие предохранители номинальным током 16 А.

По результатам расчетов было установлено, что время срабатывания плавких предохранителей менее 0,4 с.

## Список используемых источников

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
3. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
4. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). – М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
5. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. – 5-е издание, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2014. 608 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2017.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М.: Альвис, 2018. 632 с.
11. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений

среднего профессионального образования. М. : ИЦ Академия, 2016. 448 с.

12. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.

13. Сибикин Ю. Д. Электрические подстанции : Учебное пособие для высшего и среднего профессионального образования: учебное пособие. Вологда: Директ-Медиа, 2014. 414 с.

14. Стушкина Н. А. Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования в системах электроснабжения. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2011. 68 с.

15. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

16. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 05.10.2022).

17. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/) (дата обращения: 05.10.2022).

18. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения. М.: Лань, 2015. 480 с.

19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.