

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 наружного освещения железнодорожной станции

Обучающийся

А.А. Кириллов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Актуальность работы обусловлена острой необходимостью модернизации систем наружного освещения железнодорожных станций для соответствия современным требованиям безопасности, надежности и энергоэффективности. Существующие системы часто устарели, что ведет к неоправданно высоким затратам электроэнергии, повышенным эксплуатационным расходам и создает риски для безопасности движения, персонала и пассажиров.

В данной работе представлен детальный проект реконструкции системы наружного освещения железнодорожной станции. Проведен анализ текущего состояния осветительной установки и выявлены её недостатки. На основе нормативных документов (ПУЭ, СП 52.13330.2011, ГОСТ Р 54984-2012) выполнены расчеты требуемой освещенности и электрических нагрузок, осуществлен выбор оптимальных сечений кабельных линий и современного энергоэффективного оборудования, включая осветительные приборы и автоматизированные средства управления. Разработана принципиальная схема электроснабжения и управления, обеспечивающая надежность и экономичность функционирования системы. Также рассмотрены вопросы охраны труда при монтаже и эксплуатации. Проведена оценка экономической эффективности предлагаемых решений с расчетом затрат и срока окупаемости.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 76 страниц, дополняемой 11 таблицами, 10 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Разработка системы электроснабжения	6
1.1 Описание объекта проектирования	6
1.2 Характеристика электрического освещения железнодорожной станции	7
1.3 Расчет электрических нагрузок и электрического освещения.....	9
1.4 Разработка схемы электроснабжения и электроосвещения	16
1.5 Расчет распределительной сети и защитных аппаратов для освещения ...	19
2 Модернизация наружного освещения объекта.....	28
2.1 Обоснование проведения модернизации системы освещения	28
2.2 Разработка мероприятий по модернизации	29
2.3 Разработка требований к системе освещения	32
2.4 Выбор оборудования и датчиков для наружного освещения	36
2.5 Описание схемы управления наружного освещения.....	46
3 Расчет затрат на реализацию проекта	50
3.1 Описание основных статей затрат.....	50
3.2 Расчет затрат на реализацию	52
3.3 Оценка эффективности проекта	54
Заключение	56
Список используемых источников.....	58
Приложение А	61
Приложение Б.....	66

Введение

В современных условиях развития железнодорожного транспорта предъявляются повышенные требования к надежности, безопасности и эффективности функционирования всех его элементов. Одним из важнейших аспектов, обеспечивающих бесперебойную работу железнодорожной станции, является система наружного освещения. Качественное освещение территории станции необходимо для обеспечения безопасности движения поездов, маневровых работ, посадки и высадки пассажиров, а также для создания комфортных условий труда для персонала в темное время суток [8].

Устаревшие системы освещения, использующие неэффективные источники света и не имеющие современных средств управления, приводят к значительным затратам электроэнергии, повышенным эксплуатационным расходам и не соответствуют современным требованиям безопасности и энергоэффективности. Кроме того, недостаточный уровень освещенности и его неравномерность могут стать причиной травматизма и создавать угрозу безопасности движения поездов. Внедрение энергосберегающих технологий и автоматизированных систем управления освещением является одним из приоритетных направлений развития железнодорожной инфраструктуры, что отражено в Стратегии инновационного развития Российской Федерации [20].

Целью данной работы является разработка проекта реконструкции системы наружного освещения железнодорожной станции. Достижение данной цели позволит повысить безопасность и эффективность работы станции, снизить энергопотребление и эксплуатационные расходы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ существующей системы освещения станции, выявить её недостатки и определить основные направления модернизации,
- выполнить расчеты электрических нагрузок, освещенности и выбрать оптимальное сечение кабельных линий с учетом требований

нормативных документов, таких как ПУЭ [1], СП 52.13330.2011 [18] и ГОСТ Р 54984-2012,

- разработать схему электроснабжения и управления системой освещения, обеспечивающую надежную и эффективную работу осветительных установок,
- выбрать современное энергоэффективное оборудование (осветительные приборы, аппараты защиты, средства управления), отвечающее требованиям надежности, безопасности и энергосбережения,
- разработать мероприятия по охране труда при монтаже и эксплуатации оборудования, обеспечивающие безопасность персонала,
- произвести оценку экономической эффективности предлагаемых решений, включающую расчет затрат на реализацию проекта и оценку срока окупаемости.

Реализация проекта реконструкции системы наружного освещения позволит повысить уровень и равномерность освещенности территории станции в соответствии с нормативными требованиями, снизить потребление электроэнергии за счет применения энергоэффективных источников света и автоматизированной системы управления, сократить эксплуатационные расходы, а также улучшить условия труда и безопасность персонала и пассажиров.

1 Разработка системы электроснабжения

1.1 Описание объекта проектирования

Объектом проектирования является железнодорожная станция (далее – Станция), представляющая собой комплекс сооружений и устройств, предназначенных для приема, отправления, обгона и скрещения поездов, а также для выполнения маневровой работы, погрузки-выгрузки грузов и обслуживания пассажиров.

В состав Станции входят следующие основные элементы, которые необходимо учитывать при разработке системы освещения:

Железнодорожные пути: Приемо-отправочные пути, предназначенные для приема и отправления поездов, сортировочные пути – для формирования и расформирования составов, вытяжные пути – для выполнения маневровых операций. Освещение путей должно обеспечивать безопасность движения поездов и маневровых работ в темное время суток.

Стрелочные переводы: Устройства, служащие для перевода подвижного состава с одного пути на другой. Освещение стрелочных переводов должно быть достаточным для четкой видимости их положения и контроля за их состоянием.

Платформы: Пассажирские платформы, предназначенные для посадки и высадки пассажиров. Освещение платформ должно обеспечивать безопасность и комфорт пассажиров, а также хорошую видимость номеров путей и информационных табло.

Здание вокзала: Здание, предназначенное для обслуживания пассажиров (продажа билетов, залы ожидания, камеры хранения и т.д.). Наружное освещение вокзала должно обеспечивать безопасность и удобство подхода к зданию, а также архитектурную подсветку.

Служебные и технические здания: Посты электрической централизации (ЭЦ), помещения дежурного по станции, тяговые подстанции (ТП), склады,

ремонтные мастерские и другие здания, необходимые для функционирования станции. Освещение этих зданий и прилегающей к ним территории должно обеспечивать нормальные условия работы персонала [11].

Пешеходные переходы, мосты, тоннели: Сооружения, предназначенные для безопасного пересечения железнодорожных путей пассажирами и персоналом. Освещение переходов должно обеспечивать хорошую видимость и безопасность пешеходов.

Подъездные пути (автомобильные дороги): Дороги, обеспечивающие подъезд автотранспорта к станции. Освещение подъездных путей должно соответствовать требованиям, предъявляемым к освещению автомобильных дорог.

Прилегающая территория: Территории, непосредственно примыкающие к путям, платформам, зданиям, нуждающихся в освещении.

Электроснабжение Станции осуществляется от внешнего источника – тяговой подстанции (ТП), которая, в свою очередь, получает питание от энергосистемы. Напряжение тяговой подстанции, как правило, составляет 27,5 кВ или 110 кВ/220 кВ (для переменного тока) и 3,3кВ (для постоянного тока). На территории Станции размещены одна или несколько трансформаторных подстанций (ТП), понижающих напряжение до уровня 0,4 кВ, необходимого для питания потребителей, в том числе и системы наружного освещения.

1.2 Характеристика электрического освещения железнодорожной станции

Существующая система наружного освещения железнодорожной станции характеризуется особенностями и недостатками, перечисленными ниже.

Типы используемых источников света: На станции используются различные типы ламп:

Дуговые ртутные лампы (ДРЛ): Применяются, в основном, для освещения путей и прилегающих территорий. Обладают низкой световой отдачей (около 50-60 лм/Вт), неудовлетворительной цветопередачей ($R_a = 20-40$) и значительным временем разгорания (5-10 минут).

Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ): Используются для освещения платформ и, возможно, некоторых технических зон. Имеют высокую световую отдачу (до 150 лм/Вт), но очень плохую цветопередачу ($R_a = 20-25$), что затрудняет различение цветов сигналов и объектов [12], [13].

Лампы накаливания: Могут использоваться для освещения служебных помещений и, возможно, в качестве аварийного освещения. Имеют крайне низкую световую отдачу (10-15 лм/Вт) и короткий срок службы (около 1000 часов).

Состояние осветительных приборов: Осветительные приборы (светильники, прожекторы, опоры) находятся в удовлетворительном, но близком к предельному состоянию из-за длительного срока эксплуатации (более 15 лет). Наблюдаются коррозия металлических элементов опор, загрязнение и повреждение рассеивателей светильников, что приводит к снижению светового потока на 20-30%.

Схема управления освещением: Используется централизованная схема управления освещением с автоматическим включением/отключением по фотореле (датчику освещенности) [2]. Такая схема не позволяет гибко управлять освещением отдельных зон станции в зависимости от реальной потребности, а датчик освещенности, вероятно, старого образца и имеет низкую точность.

Уровень освещенности: Уровень освещенности на различных участках территории станции не соответствует нормативным требованиям [8]:

- на путях и стрелочных переводах: средняя освещенность составляет 3-5 лк (при норме 5 лк),
- на пассажирских платформах: средняя освещенность составляет 10-15 лк (при норме 20 лк для основных платформ),

- на пешеходных переходах: средняя освещенность 4-6 лк (при норме не менее 6 лк).

Равномерность освещения: Распределение освещенности по территории станции неравномерное. Имеются зоны с недостаточной освещенностью (особенно в районе стрелочных переводов и под платформами), а также участки с избыточной освещенностью (вблизи вокзала). Отношение максимальной освещенности к минимальной превышает допустимые значения (более 1:5 на путях и 1:3 на платформах) [8].

Энергоэффективность: Применение устаревших ламп (ДРЛ, лампы накаливания) и неэффективной системы управления приводит к завышенным расходам электроэнергии на освещение. Общее энергопотребление системы освещения составляет, предположительно, 80 кВт (эту цифру нужно будет уточнить при расчетах).

Отсутствие системы мониторинга: Отсутствует система автоматического контроля состояния осветительных приборов и линий электропередачи. В результате анализа существующей системы освещения можно сделать вывод о необходимости ее реконструкции.

1.3 Расчет электрических нагрузок и электрического освещения

Определение параметров электроприемников является ключевым этапом проектирования системы электроснабжения. Этот этап включает в себя расчет необходимой мощности и выбор количества силовых трансформаторов, учитывая при этом потребность в компенсации реактивной мощности. Кроме того, производится верификация проектных решений по допустимым потерям напряжения, а также проверка устойчивости элементов системы (кабельных линий) к термическому воздействию токов короткого замыкания. Результаты расчетов служат основанием для выбора устройств защиты.

В качестве исходных данных для расчетов на рассматриваемом объекте (железнодорожной станции) используется информация о существующем электрооборудовании, с учетом планируемого дооснащения и модернизации в рамках реконструкции. Для отдельных зон, например, аналогичных цеху ТР-1 (если такие зоны имеются на станции и подлежат реконструкции), расчеты выполняются для вновь устанавливаемого оборудования, предусмотренного проектом. Для остальных зон за основу берутся характеристики действующего оборудования, скорректированные с учетом планируемых изменений.

Для определения расчетных электрических нагрузок применяется метод коэффициента расчетной нагрузки (иногда называемый методом коэффициента спроса). Данный метод регламентируется действующими нормативными документами [1] и методическими указаниями [2], [3]. Необходимые для расчета данные по каждому электроприемнику (или группе однотипных электроприемников) берутся из соответствующих справочных материалов [4], [10].

Особое внимание уделяется подъемно-транспортному оборудованию, функционирующему в повторно-кратковременном режиме. Для корректного учета таких нагрузок их параметры приводятся к эквивалентной продолжительности включения, равной 100% (ПВ = 100%). В качестве иллюстрации данного подхода ниже приведен расчет для мостового крана с номинальной грузоподъемностью 10 тонн. Исходные параметры крана принимаются в соответствии с его паспортными данными (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Паспортные данные электродвигателей мостового крана

Наименование	Кол-во	Р _н , кВт	cosφ	ПВ, %
Электродвигатель передвижения крана	1	44	0,86	0,4
Электродвигатель передвижения тележки	1	24	0,86	0,4
Электродвигатель подъема	1	12,5	0,83	0,25

Расчетная мощность одного подъемно-транспортного устройства принимается равной сумме номинальных мощностей двух наиболее мощных электродвигателей, приведенных к ПВ = 100 %.

Номинальная мощность электродвигателя, приведенная к продолжительности включения ПВ = 100 %, определяется по формуле, кВт:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пас}} \cdot \sqrt{PВ_{\text{пас}}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пас}}$ – паспортная мощность электродвигателя, кВт;

$PВ_{\text{пас}}$ – паспортная продолжительность включения.

По формуле (1) номинальная мощность электродвигателей передвижения крана и тележки:

$$P_{\text{номк}} = 44 \cdot \sqrt{0,4} = 27,8 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{номт}} = 24 \cdot \sqrt{0,4} = 15,2 \text{ кВт}.$$

Расчетная мощность мостового крана, приведенная к ПВ = 100 %, кВт:

$$P_{\text{крПВ=100 \%}} = P_{\text{номк}} + P_{\text{номт}} = 27,8 + 15,2 = 43 \text{ кВт}.$$

Установленная (номинальная) мощность электроприемника работающего в повторно-кратковременном режиме определяется по формуле, кВт:

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{крПВ=100 \%}} \cdot n, \quad (2)$$

где n – количество электроприемников.

Установленная мощность мостового крана:

$$P_{уст} = 43 \cdot 1 = 43 \text{ кВт}$$

Результаты расчета для остальных электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы сводятся в таблицу 6 (приложение А), в которой также приводятся исходные данные необходимые для расчета электрических нагрузок. Электроприемники с одинаковыми K_i и $\text{tg}\varphi$ группируются в характерные категории.

Так как локомотивное депо состоит из нескольких энергоемких корпусов и небольших цехов, размещаемых в отдельных зданиях. Расчет электрических нагрузок произведем для каждого цеха отдельно. Для питания локомотивного депо в целом будет достаточно установки нескольких трансформаторных подстанций. Результаты расчета представим согласно форме Ф636-92 в таблице 7 (приложение Б).

В качестве примера приведем расчет характерных категорий электроприемников цеха ТО-3.

Установленная мощность для каждой характерной группы электроприемников цеха определяется по формуле, кВт:

$$P_{уст} = P_{ном} \cdot n, \quad (3)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность электроприемника, кВт;

n – количество электроприемников.

$$P_{уст1} = 12,6 \cdot 2 = 25,2 \text{ кВт};$$

$$P_{уст2} = 2,6 \cdot 24 = 62,4 \text{ кВт};$$

$$P_{уст3} = 76 \cdot 1 = 76 \text{ кВт};$$

$$P_{уст4} = 100 \cdot 1 + 79,2 \cdot 1 = 179,2 \text{ кВт};$$

$$P_{уст5} = 34,4 \cdot 2 = 68,8 \text{ кВт};$$

$$P_{уст6} = 65 \cdot 1 = 65 \text{ кВт};$$

$$P_{уст7} = 28,4 \cdot 2 + 21 \cdot 7 = 203,8 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{уст} = 680,4 \text{ кВт.}$$

Вычисленные значения по формуле (3) построчно заносятся в графу 5 таблицы 7 (приложение Б). В итоговой графе заносится сумма этих величин.

Величина средней активной мощности электроприемников рассчитывается по формуле, кВт:

$$P_{cp} = P_{уст} \cdot K_{и}, \quad (4)$$

где $K_{и}$ – коэффициент использования, принимается из [4].

$$P_{cp1} = 25,2 \cdot 0,3 = 7,56 \text{ кВт;}$$

$$P_{cp2} = 62,4 \cdot 0,05 = 3,12 \text{ кВт;}$$

$$P_{cp3} = 76 \cdot 0,35 = 26,6 \text{ кВт;}$$

$$P_{cp4} = 179,2 \cdot 0,65 = 116,48 \text{ кВт;}$$

$$P_{cp5} = 68,8 \cdot 0,7 = 48,16 \text{ кВт;}$$

$$P_{cp6} = 65 \cdot 0,4 = 26 \text{ кВт;}$$

$$P_{cp7} = 203,8 \cdot 0,6 = 122,28 \text{ кВт;}$$

$$\sum P_{cp} = 350,2 \text{ кВт.}$$

Вычисленные значения по формуле (4) построчно заносятся в графу 8 таблицы 7 (приложение Б). В итоговой графе определяются суммы этих величин.

Величина средней реактивной мощности электроприемников рассчитывается по формуле, кВАр:

$$Q_{cp} = P_{рв} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (5)$$

где $\text{tg}\varphi$ – коэффициент мощности, принимается из [4].

$$Q_{cp1} = 7,56 \cdot 1,73 = 13,09 \text{ кВАр;}$$

$$Q_{\text{ср}2} = 3,12 \cdot 0,88 = 2,75 \text{ кВАр};$$

$$Q_{\text{ср}3} = 26,6 \cdot 1,52 = 40,39 \text{ кВАр};$$

$$Q_{\text{ср}4} = 116,48 \cdot 0,75 = 87,36 \text{ кВАр};$$

$$Q_{\text{ср}5} = 48,16 \cdot 0,88 = 42,47 \text{ кВАр};$$

$$Q_{\text{ср}6} = 26 \cdot 1,17 = 30,4 \text{ кВАр};$$

$$Q_{\text{ср}7} = 122,28 \cdot 0,75 = 91,71 \text{ кВАр};$$

$$\sum Q_{\text{ср}} = 308,18 \text{ кВАр}.$$

Вычисленные значения по формуле (5) построчно заносятся в графу 9 таблицы 7 (приложение Б). В итоговой графе определяются суммы этих величин.

Далее определяется средневзвешенный коэффициент использования:

$$K_{\text{и.ср.вз}} = \frac{\sum P_{\text{ср}}}{\sum P_{\text{уст}}}. \quad (6)$$

$$K_{\text{и.ср.вз}} = \frac{350,2}{680,4} = 0,52.$$

Значение $K_{\text{и.ср.вз}}$ заносится в графу 6 таблицы 7 (приложение Б) итоговой строки.

Эффективное число электроприемников определяется по формуле:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_{\text{уст}}}{P_{\text{уст.мах}}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{уст.мах}}$ — максимальная установленная мощность одного электроприемника, кВт.

Найденное значение $n_{\text{э}}$ округляется до ближайшего целого числа:

$$n_9 = \frac{2 \cdot 680,4}{100} = 13.$$

В зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприемников определяется коэффициент расчетной нагрузки по [2]. Для цеха ТО-3, $K_p = 0,85$.

Расчетные активная и реактивная мощности для всего цеха определяются по формулам:

$$P_p = K_p \cdot \sum P_{cp}; \quad (8)$$

$$Q_p = K_p \cdot \sum Q_{cp}. \quad (9)$$

$$P_p = 0,85 \cdot 350,2 = 297,67 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 0,85 \cdot 308,18 = 261,95 \text{ кВАр}.$$

Мощность осветительной нагрузки считается отдельно. Определим расчетную активную и реактивную мощность осветительной нагрузки цеха ТО-3 по формулам:

для ламп типа ДРЛ:

$$P_{p.o} = P_{уст} \cdot K_{и} \cdot K_{пра}, \quad (10)$$

где $K_{пра} = 1,2$ – коэффициент учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре (для газоразрядных ламп).

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (11)$$

для ламп типа ЛН, LED т.к. $\cos \varphi = 1$ определяется только расчетная активная мощность по формуле, кВт:

$$P_{p.o} = P_{уст} \cdot K_{и}. \quad (12)$$

$$P_{p.o1} = 12,8 \cdot 0,9 \cdot 1,2 = 13,82 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.o1} = 13,82 \cdot 0,33 = 4,54 \text{ кВАр};$$

$$P_{p.o2} = 65,4 \cdot 0,85 = 55,59 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{p.o} = 69,41 \text{ кВт}.$$

Полная расчетная мощность цеха определяется по формуле, кВА:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2}. \quad (13)$$

$$S_p = \sqrt{(297,67 + 69,41)^2 + (261,95 + 4,54)^2} = 453,62 \text{ кВА}.$$

В данном подразделе был произведен расчет электрических нагрузок и электрического освещения, по итогам которого полная мощность объекта составила 453,62 кВА.

1.4 Разработка схемы электроснабжения и электроосвещения

На основании выполненных расчетов электрических нагрузок и анализа существующей системы электроснабжения разрабатывается схема электроснабжения и электроосвещения реконструируемой системы наружного освещения железнодорожной станции. В данном разделе будут описаны общие принципы построения схемы. Конкретная схема будет представлена в графической части проекта (чертежах) после уточнения всех исходных данных.

Принципы построения схемы заключаются в следующем:

Надежность электроснабжения: Система электроснабжения должна обеспечивать надежное и бесперебойное питание осветительных установок. Для этого, предположительно, используется двухтрансформаторная подстанция (2КТП) с устройством автоматического ввода резерва (АВР) на стороне низкого напряжения (0,4 кВ). При исчезновении напряжения на одном из вводов АВР автоматически переключает питание на резервный ввод, обеспечивая бесперебойность электроснабжения [1]. Данное предположение основывается на требованиях к электроснабжению объектов II категории, к которым, как правило, относятся системы освещения железнодорожных станций.

Радиальная схема: для распределения электроэнергии от ТП к осветительным установкам применяется радиальная схема, как наиболее простая и надежная [1]. От каждой секции шин 0,4 кВ ТП прокладываются отдельные питающие линии (фидеры) к группам светильников.

Резервирование: для повышения надежности, предположительно, предусматривается резервирование питающих линий. Это может быть реализовано путем прокладки двух параллельных кабельных линий от разных секций шин ТП к одной группе светильников (с установкой переключателя на стороне нагрузки) или путем кольцевания сети (менее вероятно для наружного освещения). Выбор конкретного способа резервирования будет зависеть от конфигурации сети и требований к надежности.

Разделение на группы: Осветительная сеть разделяется на отдельные группы (линии) для удобства управления и обслуживания. Каждая группа включает в себя светильники, расположенные на определенном участке территории станции (например, платформа №1, путь №3, стрелочный перевод №5 и т.д.).

Управление освещением: для управления освещением предусматривается установка щитов управления освещением (ЩУО) в удобных для обслуживания местах (например, на опорах освещения или в здании ТП). ЩУО обеспечивают включение/отключение отдельных групп

светильников, а также защиту линий от перегрузок и коротких замыканий.

Предположительно, управление освещением будет осуществляться:

- автоматически, по сигналу от фотореле (датчика освещенности) при достижении определенного уровня естественной освещенности [2],
- дистанционно, с диспетчерского пункта (с поста ЭЦ) с помощью системы телемеханики (при ее наличии),
- вручную, с ЩУО.

Предполагаемая схема электроснабжения изображена на рисунке 1.

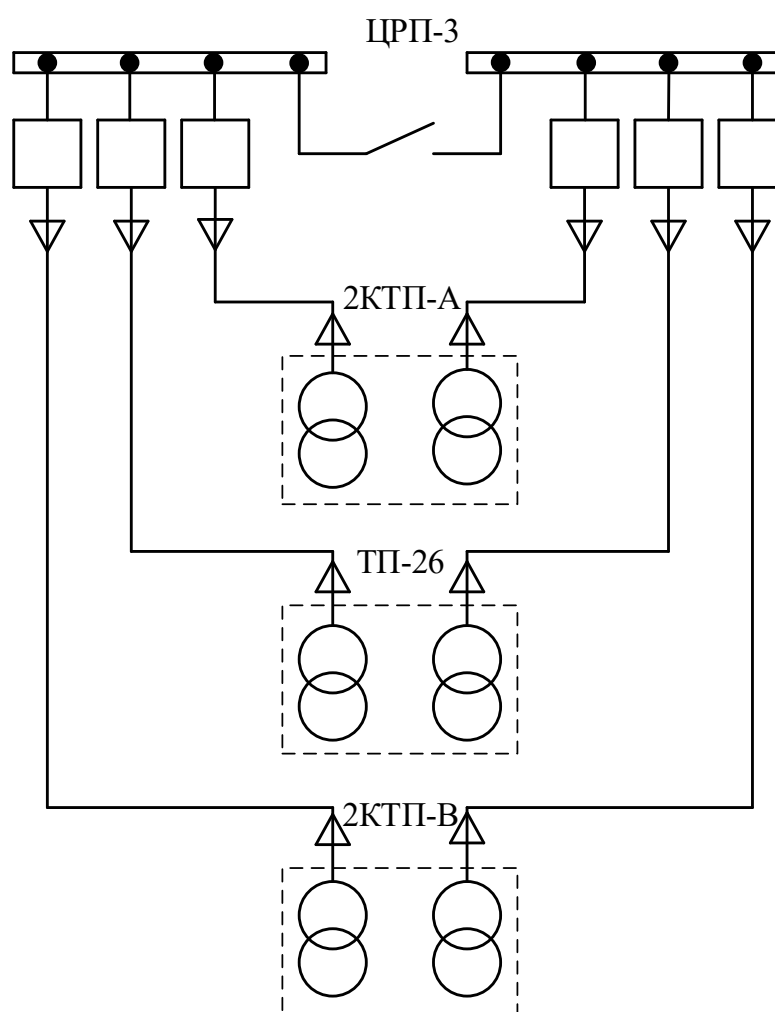


Рисунок 1 – Схема внешнего электроснабжения локомотивного депо

Для защиты осветительных сетей от перегрузок и коротких замыканий в ЩУО устанавливаются автоматические выключатели [1]. Номинальные токи

автоматических выключателей выбираются в соответствии с расчетными токами линий (раздел 1.3) и с учетом селективности (для обеспечения отключения только поврежденного участка сети).

Для коммерческого учета электроэнергии, потребляемой системой освещения, на вводе в ТП (или в ЩУО) устанавливается счетчик электрической энергии.

Электроснабжение системы наружного освещения осуществляется от двухтрансформаторной подстанции 2КТП 6(10)/0,4 кВ. На стороне 0,4 кВ ТП установлено устройство АВР. От каждой секции шин 0,4 кВ ТП проложены кабельные линии (основные и резервные) к щитам управления освещением (ЩУО), расположенным на территории станции. В ЩУО установлены автоматические выключатели для защиты линий и рубильники (или контакторы) для управления освещением. Управление освещением осуществляется автоматически (по фотореле), дистанционно (с диспетчерского пункта) и вручную (с ЩУО). От ЩУО проложены кабельные линии к светильникам, разделенным на группы в соответствии с функциональным назначением и расположением на территории станции [14], [15].

1.5 Расчет распределительной сети и защитных аппаратов для освещения

Электроснабжение проектируемой системы наружного освещения будет реализовано от существующих трансформаторных подстанций (ТП). Для подключения новых осветительных установок предусматривается прокладка дополнительных кабельных линий, включающих в себя фазные проводники и общий нулевой проводник (PEN или N, в зависимости от системы заземления). Распределительная сеть освещения будет организована следующим образом: осветительные установки № 1, 2, 3 и 4 подключаются к ТП-26; установки № 5 и 6 – к 2КТП-В; установки № 7 и 8 – к 2КТП-А. Существующая схема питания

прожекторных светильников, смонтированных на фасадах зданий, сохраняется (подключение от внутренних щитов освещения).

Ключевым требованием при проектировании кабельных линий наружного освещения является обеспечение нормируемого отклонения напряжения у конечных потребителей (осветительных приборов). Согласно [1], [6], [7], это отклонение не должно выходить за пределы -2,5% ... +5% от номинального напряжения сети. Следовательно, напряжение на зажимах наиболее удаленных светильников должно составлять не менее 97,5% от номинального значения. Выбор сечения кабелей производится на основании расчетов по нескольким критериям: по допустимой потере напряжения, по условиям длительного нагрева рабочим током, а также по термической устойчивости к воздействию токов короткого замыкания.

Потеря напряжения сети освещения от источника до последней осветительной установки, определяется по формуле, %:

$$\Delta U_c = U_{xx} - \Delta U_T - U_y, \quad (14)$$

где U_{xx} — напряжение холостого хода трансформатора, соответствующее номинальному напряжению на зажимах вторичной обмотки трансформатора и равное 105 % номинального напряжения U_y осветительной установки;

ΔU_T — потеря напряжения в трансформаторе, %;

U_y — минимально допустимое напряжение осветительной установки, % от номинального.

Приняв $U_{xx} = 105 \% \cdot U_{ном}$, $U_y = 97,5 \% \cdot U_{ном}$ и $\Delta U_T = 3,61 \%$ рассчитав по формуле (14) получим:

$$\Delta U_c = 105 - 3,61 - 97,5 = 3,89 \%.$$

Зная потери напряжения, определим сечение кабеля по формуле, мм²:

$$F = \frac{M}{C \cdot \Delta U_c}, \quad (15)$$

где M – момент нагрузки, кВт·м;

C – коэффициент, зависящий от материала провода, напряжения и системы сети, для алюминиевых проводов напряжения 380/220 системы сети трехфазной с нулем, принимается $C = 44$ [1].

Метод определения момента нагрузки выбирается в зависимости от конфигурации сети освещения. Момент определяется как произведение расчетной нагрузки осветительной установки на длину участка сети, по формуле:

$$M = P_n \cdot L \quad (16)$$

Расчетная мощность осветительных установок согласно проекту модернизации, одинакова и равна $P_n = 3$ кВт. Исходные данные для расчета момента нагрузки представлены на рисунке 2.

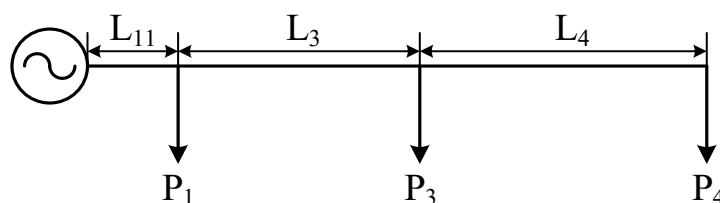


Рисунок 2 – Расчетная схема

Момент нагрузки для линии L_{11} , определяется по формуле, кВт·м:

$$M_1 = P_4 \cdot (L_{11} + L_3 + L_4) + P_3 \cdot (L_{11} + L_3) + P_1 \cdot L_{11}. \quad (17)$$

$$M_1 = 3 \cdot (20 + 168 + 192) + 3 \cdot (20 + 168) + 3 \cdot 20 = 1764 \text{ кВт·м.}$$

По формуле (15) определим сечение кабельной линии на участке L_{11} :

$$F_{11} = \frac{1764}{44 \cdot 3,89} = 10,3 \text{ мм}^2.$$

К установке принимаем кабель марки АВБШв (4х16) мм². Расчетные данные для кабеля: $r_0 = 1,84 \text{ Ом/км}$; $x_0 = 0,068 \text{ Ом/км}$; $L_{11} = 0,02 \text{ км}$; $I_{\text{дл.доп}} = 82 \text{ А}$.

Условие проверки кабеля по допустимому току:

$$I_p \leq I_{\text{дл.доп}}. \quad (18)$$

Значение рабочего тока зависит от конфигурации сети, которое определим по формуле, А:

$$I_p = \frac{P_n \cdot 10^3}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi}. \quad (19)$$

По формуле (19) определим рабочий ток для участка L_{11} :

$$I_p = \frac{9 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,95} = 14,35 \text{ А}.$$

В соответствии с условием (19) $14,35 \text{ А} \leq 82 \text{ А}$, следовательно, кабельная линия удовлетворяет условию по длительно допустимому току.

Проверим сечение кабельной линии по термической стойкости. Тепловой импульс тока короткого замыкания определим по формуле:

$$W_k = 2,795^2 \cdot (1,5 + 0,0044) = 11,748 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

Определим минимальное сечение по термической стойкости:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{11,748}}{90} = 38,08 \text{ мм}^2.$$

Сечение кабеля должно удовлетворять условию:

$$38,08 \text{ мм}^2 < 16 \text{ мм}^2.$$

Кабельная линия не удовлетворяет условию по термической стойкости, следовательно, произведем замену кабеля на АВБШв (4х50) мм². Расчет для остальных кабельных линий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет сетей электрического освещения

№ участка сети	Длина, м	Тип кабеля		Расчетные величины		
		Марка	F, мм ²	F _{min} , мм ²	I _p , А	ΔU, %
11	20	АВБШв	4х50	38,08	14,35	3,89
3	168	АВБШв	4х50	37,14	9,57	3,53
4	192	АВБШв	4х50	36,25	4,78	3,12
12	20	АВБШв	4х50	38,08	9,57	3,89
2	228	АВБШв	4х50	36,96	4,78	3,4
5	132	АВБШв	4х50	36,88	4,78	3,96
6	64	АВБШв	4х50	36,92	4,78	3,96
7	148	АВБШв	4х50	47,72	4,78	3,88
8	156	АВБШв	4х50	47,7	4,78	3,88

Для защиты линий освещения от перегрузок и коротких замыканий используются автоматические выключатели. Выбор автоматических выключателей производится по следующим параметрам [1]:

- номинальное напряжение;
- номинальный ток;
- отключающая способность;
- тип расцепителя.

Пример расчета (для одной из линий):

Расчетный ток линии: $I_p = 14,35 \text{ А}$.

Длина линии: $L = 150 \text{ м} = 0,15 \text{ км}$.

Нормируемая потеря напряжения: $\Delta U_{\text{доп}} = 5\%$.

Выбор автоматического выключателя:

Выбираем автоматический выключатель с номинальным током 16 А (ближайший больший стандартный номинал) и отключающей способностью не менее 2,5 кА. Тип расцепителя – электромагнитный и тепловой.

Выбор оптимального способа прокладки кабельных линий для системы наружного освещения железнодорожной станции является важной инженерной задачей. Необходимо учитывать комплекс факторов, обеспечивающих, прежде всего, безопасность и надежность, а также экономичность и удобство эксплуатации. Немаловажную роль играют и требования действующих нормативных документов, таких как ПУЭ [1] и СП 76.13330.2016.

Основным критерием при выборе является обеспечение защиты кабеля от механических повреждений. Это особенно актуально в условиях железнодорожной станции, где кабель может быть подвержен воздействию вибрации от проходящих поездов, случайным повреждениям при проведении ремонтных работ, а также влиянию атмосферных факторов. Кроме того, способ прокладки должен обеспечивать возможность доступа к кабелю для его обслуживания и, при необходимости, замены.

Для условий железнодорожной станции наиболее целесообразным представляется комбинированный подход, сочетающий различные способы прокладки в зависимости от конкретных условий на каждом участке.

Преимущественным способом является прокладка кабеля в земле, в траншеях. Этот метод обеспечивает достаточно надежную защиту кабеля от внешних воздействий, является относительно экономичным и не нарушает эстетику территории станции. Глубина траншеи должна составлять не менее 0,7 метра от уровня планировки [1]. Дно траншеи выравнивается и

подсыпается слоем песка, на который укладывается кабель. Сверху кабель также засыпается песком, а затем грунтом. Для данного способа прокладки рекомендуется применение бронированных кабелей, например, марок АВБШв или ВБШв.

В местах с повышенным риском механических повреждений, таких как пересечения железнодорожных путей и автомобильных дорог, необходимо использовать дополнительную защиту кабеля. Для этих целей оптимальным решением является прокладка кабеля в защитных трубах (стальных, асбестоцементных или полиэтиленовых).

Под платформами, вблизи зданий и в других местах, где требуется обеспечить удобный доступ к кабелю для обслуживания и ремонта, целесообразно использовать прокладку в кабельных каналах. Кабельные каналы представляют собой железобетонные лотки, закрытые сверху плитами, и обеспечивают высокую степень защиты кабеля.

Таким образом, для данного проекта предлагается комбинированный подход к прокладке кабельных линий: преимущественно в траншеях с использованием бронированного кабеля, с применением труб на участках пересечений и кабельных каналов – в местах, требующих повышенной защиты и доступности. Окончательное решение по способу прокладки для каждой конкретной линии будет приниматься на этапе разработки рабочей документации.

Щиты управления освещением (ЩУО) играют центральную роль в системе наружного освещения железнодорожной станции. Именно в ЩУО осуществляется распределение электроэнергии, защита отходящих линий и реализация алгоритмов управления осветительными установками. Поэтому к выбору ЩУО необходимо подходить с особой тщательностью.

Для данного проекта предлагается использовать щиты управления освещением типа ЩУО в металлическом корпусе со степенью защиты IP55 и климатическим исполнением У1. Конкретная комплектация каждого ЩУО (количество и типы автоматических выключателей, наличие аппаратуры

управления) будет определяться индивидуально, в зависимости от схемы управления освещением и расчетных нагрузок на каждой линии.

При проектировании системы наружного освещения железнодорожной станции необходимо уделить особое внимание вопросам обеспечения надежности электроснабжения и безопасности эксплуатации. Ключевыми аспектами, влияющими на эти параметры, являются резервирование и селективность.

В системе распределения электроэнергии к осветительным установкам резервирование может быть реализовано различными способами. Один из вариантов – прокладка двух параллельных кабельных линий от разных секций шин 0,4 кВ трансформаторной подстанции к одной группе светильников. В этом случае при повреждении одной из линий питание автоматически переключается на вторую линию (вручную, либо при помощи перекидного рубильника, либо АВР меньшего масштаба).

Другой вариант – кольцевание сети, когда несколько групп светильников подключаются к двум разным линиям, образующим кольцо. При повреждении одного из участков кольца питание сохраняется с другой стороны. Однако этот способ более сложен в реализации и, как правило, не применяется для систем наружного освещения. Поэтому для данного проекта наиболее вероятен первый вариант.

Селективность достигается за счет правильного выбора параметров срабатывания защитных аппаратов (автоматических выключателей) и их координации между собой. Автоматические выключатели, расположенные ближе к источнику питания (на вводе в ЩУО), должны иметь большие уставки по току и времени срабатывания, чем автоматические выключатели, защищающие отходящие линии [9], [16].

Современные системы наружного освещения, особенно на таких ответственных объектах, как железнодорожные станции, все чаще оснащаются системами мониторинга. Система мониторинга – это комплекс программно-аппаратных средств, предназначенный для непрерывного

контроля состояния осветительного оборудования и параметров электрической сети в режиме реального времени.

Выводы:

В рамках первого раздела проекта определены основные элементы железнодорожной станции, подлежащие освещению, и выявлены недостатки существующей системы. Предложены принципы построения схемы электроснабжения, обеспечивающие надежность (двухтрансформаторная подстанция с АВР, радиальная схема распределения, резервирование линий), безопасность (защита от перегрузок и КЗ, заземление, защита от перенапряжений) и управляемость (разделение на группы, автоматическое, дистанционное и ручное управление). Описана предполагаемая структура схемы.

2 Модернизация наружного освещения объекта

2.1 Обоснование проведения модернизации системы освещения

Необходимость модернизации существующей системы наружного освещения железнодорожной станции обусловлена комплексом факторов, связанных с ее техническим состоянием, эксплуатационными характеристиками и требованиями современных норм и стандартов.

Как было установлено в разделе 1, существующая система освещения, предположительно, имеет ряд существенных недостатков. В частности, используется устаревшее осветительное оборудование, такое как лампы ДРЛ и лампы накаливания, которые отличаются низкой энергоэффективностью, коротким сроком службы и неудовлетворительным качеством света (низкая цветопередача, пульсации светового потока).

Уровень освещенности на многих участках Станции не соответствует действующим нормам [5], [8]. Недостаточная освещенность путей, стрелочных переводов, платформ и пешеходных переходов снижает безопасность движения поездов, создает риски для пассажиров и персонала, а также затрудняет выполнение технологических операций в темное время суток.

Кроме того, существующая система освещения, вероятно, характеризуется неравномерным распределением света, что приводит к образованию затененных зон и, как следствие, к ухудшению видимости. Это может стать причиной несчастных случаев и затруднить работу машинистов и других работников станции.

Централизованная система управления освещением, основанная на фотореле, не обеспечивает гибкости и не позволяет оперативно реагировать на изменение условий (например, изменение погодных условий, интенсивности движения). Отсутствие системы мониторинга затрудняет контроль состояния оборудования и своевременное выявление неисправностей.

В итоге, эксплуатация устаревшей системы освещения приводит к повышенным расходам электроэнергии, высоким затратам на обслуживание и ремонт, а также не обеспечивает требуемый уровень безопасности и комфорта.

Таким образом, модернизация системы наружного освещения является экономически целесообразной и технически необходимой мерой, направленной на повышение эффективности и безопасности работы железнодорожной станции.

2.2 Разработка мероприятий по модернизации

Модернизация системы наружного освещения железнодорожной станции представляет собой комплексный проект, включающий в себя ряд взаимосвязанных мероприятий. Целью этих мероприятий является создание современной, надежной, энергоэффективной и безопасной системы освещения, отвечающей всем действующим нормам и требованиям [17], [18].

Основные мероприятия по модернизации:

1. Замена устаревших источников света является первоочередным и наиболее эффективным мероприятием по модернизации системы наружного освещения железнодорожной станции. Как было установлено ранее, на станции, вероятно, используются лампы ДРЛ, натриевые лампы (ДНаТ) и, возможно, лампы накаливания. Все эти типы ламп имеют существенные недостатки по сравнению с современными светодиодными (LED) источниками света.

Замена устаревших источников света на светодиодные светильники позволит значительно снизить энергопотребление, сократить эксплуатационные расходы, улучшить качество освещения и повысить безопасность на железнодорожной станции.

2. Замена (или модернизация) осветительных приборов. Наряду с заменой ламп необходимо провести ревизию и, при необходимости, замену или модернизацию самих осветительных приборов (светильников,

прожекторов). Устаревшие светильники могут иметь поврежденные корпуса, отражатели и рассеиватели, что снижает их эффективность. Новые светильники должны иметь степень защиты IP не ниже IP54 (а лучше IP65) для обеспечения надежной работы в условиях наружной эксплуатации.

3. Замена (или модернизация) опор освещения. Если существующие опоры освещения находятся в неудовлетворительном состоянии (коррозия, механические повреждения) или не соответствуют требованиям по высоте и расположению, необходимо предусмотреть их замену или модернизацию. Новые опоры должны быть изготовлены из прочных материалов (сталь с антикоррозийным покрытием, оцинкованная сталь) и иметь достаточную высоту для обеспечения равномерного освещения.

Для освещения железнодорожной станции рекомендуется использовать стальные оцинкованные опоры. Высота и расположение опор определяются расчетом освещенности. При выборе опор необходимо учитывать ветровой район, тип грунта, а также требования к удобству обслуживания светильников. В рамках данного проекта, вероятно, потребуется как замена существующих опор, так и установка дополнительных опор для обеспечения равномерного освещения всей территории станции.

4. Модернизация системы электроснабжения. В рамках модернизации системы освещения необходимо провести ревизию и, при необходимости, модернизацию системы электроснабжения. Это может включать в себя замену кабельных линий, установку новых щитов управления освещением (ЩУО), замену автоматических выключателей и других аппаратов защиты.

5. Внедрение автоматизированной системы управления освещением (АСУО). Для повышения энергоэффективности и удобства эксплуатации рекомендуется внедрить АСУО. Внедрение автоматизированной системы управления освещением (АСУО) является одним из ключевых мероприятий по повышению энергоэффективности и функциональности системы наружного освещения железнодорожной станции. АСУО представляет собой

комплекс программно-аппаратных средств, обеспечивающих автоматическое, дистанционное и ручное управление осветительными установками.

Для реализации АСУО на железнодорожной станции могут использоваться различные технические решения. Наиболее распространенными являются системы на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) или специализированных контроллеров управления освещением. Контроллеры устанавливаются в щитах управления освещением (ЩУО) и обеспечивают сбор данных от датчиков (фотореле, датчики движения), управление исполнительными устройствами (контакторами, диммерами) и связь с диспетчерским пунктом.

6. Оптимизация расположения осветительных приборов. При проектировании новой системы освещения необходимо оптимизировать расположение осветительных приборов для обеспечения равномерного освещения территории станции и исключения затененных зон. Это может потребовать изменения расположения существующих опор или установки дополнительных опор.

Для освещения железнодорожных путей рекомендуется использовать консольные светильники с асимметричной (широкой боковой) кривой силы света, установленные на опорах вдоль путей. [19].

Для освещения стрелочных переводов необходимо обеспечить повышенный уровень освещенности и использовать светильники, исключающие затенение элементов стрелочного перевода.

Для освещения платформ рекомендуется использовать светильники с более равномерным распределением света (например, с косинусной или круглосимметричной кривой силы света).

Для освещения пешеходных переходов и привокзальной площади можно использовать прожекторы заливающего света или светильники с широким углом рассеивания.

Оптимизация расположения осветительных приборов – это сложная инженерная задача, требующая учета множества факторов. Окончательное

решение по расположению светильников принимается на основании результатов компьютерного моделирования и с учетом требований нормативных документов.

Монтажные и пусконаладочные работы: После выбора оборудования, необходимо произвести монтаж, подключение и пусконаладочные работы.

Обучение персонала: Обучить персонал работе с новой системой.

Реализация перечисленных мероприятий позволит создать современную систему наружного освещения, отвечающую всем требованиям безопасности, надежности и энергоэффективности. Конкретный перечень мероприятий и объем работ будут определены на этапе разработки рабочей документации на основании результатов обследования объекта и расчетов.

2.3 Разработка требований к системе освещения

Разработка детальных и исчерпывающих требований к системе освещения – это критически важный этап, определяющий успех всего проекта модернизации. Эти требования служат своеобразным техническим заданием, на основе которого осуществляется выбор оборудования, разработка схемных решений и, в конечном итоге, оценка качества выполненных работ. Требования к системе освещения железнодорожной станции охватывают широкий спектр параметров, и их можно условно разделить на несколько основных категорий.

Нормативные требования к освещенности:

Основополагающим документом, регламентирующим требования к освещенности объектов железнодорожного транспорта, является ГОСТ Р 54984-2012 [8]. Этот стандарт устанавливает минимально допустимые уровни горизонтальной освещенности для различных зон станции, а также требования к равномерности освещения и ограничению слепящего действия. Например, для путей и стрелочных переводов средняя горизонтальная освещенность должна составлять не менее 5 лк, для пассажирских платформ – не менее 20

лк (для основных платформ) и т.д. Кроме средних значений, нормируются и минимальные значения освещенности в любой точке освещаемой поверхности. Важно обеспечить не только достаточный уровень освещенности, но и ее равномерность. Резкие перепады яркости создают дискомфорт, ухудшают видимость и могут привести к ослеплению, что недопустимо на объектах железнодорожного транспорта. Нормативные документы ограничивают отношение максимальной освещенности к минимальной (например, для путей – не более 5:1). Также необходимо учитывать требования к ограничению слепящего действия, особенно для машинистов поездов. Это достигается за счет правильного выбора и расположения светильников, применения светильников с защитными углами и антибликовыми рассеивателями.

Требования к освещенности являются одними из самых важных при проектировании системы наружного освещения железнодорожной станции, поскольку напрямую влияют на безопасность движения поездов, маневровых работ, а также на безопасность и комфорт пассажиров и персонала. Эти требования регламентируются несколькими нормативными документами, основным из которых является ГОСТ Р 54984-2012 "Освещение наружное объектов железнодорожного транспорта. Нормы и методы контроля". Также следует учитывать требования ПУЭ [1], СП 52.13330.2011/2016 ("Естественное и искусственное освещение", актуализированная редакция СНиП 23-05-95·) и отраслевые нормы и правила, действующие на железнодорожном транспорте.

Требования к качеству света: [21].

Качество света определяется не только его количеством (освещенностью), но и спектральным составом. Цветовая температура источников света влияет на восприятие цветов и общее впечатление от освещения. Для наружного освещения железнодорожной станции рекомендуется использовать источники света с нейтральной белой (4000-5000 К) или теплой белой (3000-4000 К) цветовой температурой. Нейтральный

белый свет обеспечивает лучшую цветопередачу, что особенно важно для путей и стрелочных переводов, где необходимо четко различать цвета сигналов и объектов. Индекс цветопередачи (Ra) характеризует способность источника света правильно передавать цвета освещаемых объектов. Для наружного освещения железнодорожной станции рекомендуется использовать источники света с Ra не менее 80.

Выбор цветовой температуры для наружного освещения железнодорожной станции зависит от назначения освещаемой зоны:

Пути, стрелочные переводы, сортировочные горки: Для этих зон рекомендуется использовать источники света с нейтральной белой цветовой температурой (4000-5000 K). Нейтральный белый свет обеспечивает наилучшую видимость и цветопередачу, что критически важно для безопасности движения поездов и маневровых работ. Он позволяет машинистам и работникам станции четко различать сигналы, цвета объектов и препятствия.

Пассажирские платформы, привокзальная площадь, пешеходные переходы: Для этих зон можно использовать источники света с теплой белой (3000-4000 K) или нейтральной белой (4000-5000 K) цветовой температурой. Теплый белый свет создает более комфортную и уютную атмосферу, что важно для пассажиров. Однако, если на платформах имеются информационные табло с цветными элементами, предпочтительнее использовать нейтральный белый свет.

Служебные и технические зоны: можно использовать и теплый, и нейтральный свет, в зависимости от особенностей помещения.

Для наружного освещения железнодорожной станции рекомендуется использовать источники света с индексом цветопередачи не менее 80 ($Ra \geq 80$). Это обеспечивает правильное восприятие цветов сигналов, разметки, указателей, а также цветов одежды работников и пассажиров, что важно для безопасности. Использование источников света с низким Ra (например,

натриевых ламп) может привести к ошибкам в распознавании цветов и создать аварийные ситуации.

Система освещения железнодорожной станции должна быть надежной и безопасной в эксплуатации. Это обеспечивается за счет использования качественного оборудования с длительным сроком службы, применения защитных мер (заземление, защита от перенапряжений, защита от коротких замыканий и перегрузок), а также за счет резервирования элементов системы. Светильники и щиты управления должны иметь степень защиты (IP), соответствующую условиям наружной эксплуатации (не ниже IP54, а предпочтительно IP65). Система освещения должна быть удобной в управлении. Необходимо предусмотреть возможность автоматического включения и отключения освещения по сигналу от фотореле или реле времени, а также возможность дистанционного управления с диспетчерского пункта. Желательно предусмотреть возможность регулирования яркости светильников (диммирования) для дополнительной экономии электроэнергии в периоды низкой интенсивности движения.

Современная система освещения должна быть удобной в управлении и позволять гибко адаптировать режимы работы к меняющимся условиям. Необходимо предусмотреть возможность автоматического управления освещением. Автоматическое включение и отключение светильников может осуществляться по сигналу от фотореле (датчика освещенности) при достижении заданных пороговых значений естественной освещенности, а также по расписанию (с помощью реле времени или контроллера). [22], [23].

Для дополнительной экономии электроэнергии и создания более комфортных условий целесообразно использовать диммирование – регулирование яркости светильников. Диммирование может осуществляться автоматически (в зависимости от уровня естественной освещенности или наличия людей в зоне освещения) или вручную (с диспетчерского пункта).

Важным элементом системы управления является возможность дистанционного контроля и управления освещением. Это позволяет

оперативно получать информацию о состоянии системы, включать и отключать отдельные группы светильников, а также изменять режимы работы освещения с диспетчерского пункта (например, с поста ЭЦ).

Таким образом, надежность, безопасность и удобство управления – это неотъемлемые характеристики современной системы освещения, которые должны быть учтены при проектировании и реализации проекта модернизации.

2.4 Выбор оборудования и датчиков для наружного освещения

В рамках проекта реконструкции, для размещения осветительных приборов, предлагается использовать высокомастовые опоры с мобильной короной типа ВМО 30-3/6 (производитель – ООО «Металл Инжиниринг» или аналог). Высота опор (30 метров) определена на основании светотехнических расчетов и требований нормативных документов [1]. Конструкция мачт, выполненная из стали с антикоррозийным покрытием, обеспечивает устойчивость к неблагоприятным погодным условиям и механическим нагрузкам.

Ключевой особенностью данных опор является наличие мобильной короны. Шестигранная корона, на которой размещаются светильники, может опускаться и подниматься с помощью специального механизма, расположенного в основании опоры. Это исключает необходимость использования автовышек или другого подъемного оборудования при обслуживании светильников, что существенно снижает эксплуатационные расходы и повышает безопасность работ. Обслуживание может производиться одним электромонтером непосредственно с земли.

Для освещения территории станции выбраны промышленные светодиодные светильники GALAD Эверест LED (Extra Wide) или аналогичные по характеристикам. Основным преимуществом данных светильников является высокая энергоэффективность. Предполагается

установка шести светильников данной модели мощностью 500 Вт на каждой опоре. Для освещения фасадов зданий (если таковые имеются в зоне реконструкции) предусмотрены светильники той же серии, но меньшей мощности – 160 Вт. Светильники GALAD Эверест LED характеризуются высокой световой отдачей (более 100 лм/Вт), что соответствует требованиям [8]. Корпус светильников изготовлен из алюминиевого сплава, а конструктивные элементы – из нержавеющей стали, что обеспечивает их долговечность. Ударопрочный рассеиватель из поликарбоната защищает светодиоды от механических повреждений. Герметизация светодиодных модулей выполнена по современной технологии, обеспечивающей высокую степень защиты от пыли и влаги (IP65/IP66) и позволяющей отказаться от дополнительного внешнего рассеивателя, снижающего световой поток. Конструкция светильников обеспечивает простоту обслуживания: замена блоков питания осуществляется без демонтажа самого светильника благодаря использованию герметичных разъемов. [24].

Для автоматизации управления наружным освещением, а также для обеспечения защиты и коммутации, на каждой опоре предполагается установка ящиков управления наружным освещением (ЯУОТ) производства ООО «ТПЭ-Тяжпромэлектро» или аналогичных. Выбранная модель ЯУОТ-33-100-16-54-УХЛЗ.1 представляет собой навесной шкаф в трехфазном исполнении, предназначенный для работы в умеренном климате (УХЛЗ.1). ЯУОТ обеспечивает автоматическое управление освещением по сигналам от датчика освещенности (фотореле) и реле времени (суточного или недельного). Вводной автоматический выключатель защищает цепи от перегрузок и коротких замыканий. Коммутация силовых цепей осуществляется электромагнитным контактором. ЯУОТ имеет степень защиты, позволяющую эксплуатировать его на открытом воздухе.

Применение данных ЯУОТ позволит реализовать гибкую систему управления освещением, с возможностью включения/отключения как в автоматическом режиме (по освещенности и времени), так и в ручном режиме

(с местного пульта управления). Кроме того, обеспечивается возможность дистанционного управления режимами работы осветительной установки.

Для обмена данными между элементами системы автоматизированного управления наружным освещением (АСУНО) применяются различные интерфейсы и протоколы связи. На верхнем и среднем уровнях системы (между контроллерами, щитами управления и диспетчерским пунктом) используется промышленный стандарт RS-485. Этот стандарт определяет физический уровень для асинхронной передачи данных и широко применяется в промышленной автоматизации благодаря своей надежности, помехоустойчивости и возможности организации сети с большим количеством устройств (до 256, но обычно меньше, для повышения надежности) на значительных расстояниях (до 1200 метров).

Для физической реализации интерфейса RS-485 в данной системе используется кабель типа "витая пара" 5bites FS5525-305BE или аналогичный. Этот кабель относится к категории 5е и экранированному типу (FTP), что обеспечивает защиту от электромагнитных помех. Он содержит четыре пары одножильных медных проводников, что позволяет организовать дуплексную (при необходимости) связь. Диаметр жилы не превышает 0,51 мм.

Для связи между контроллерами среднего уровня и отдельными "умными" светильниками (если таковые имеются в системе) или датчиками (например, датчиками движения) может использоваться беспроводная технология ZigBee. ZigBee – это стандарт, основанный на IEEE 802.15.4, предназначенный для создания беспроводных персональных сетей (WPAN) с низким энергопотреблением. Он идеально подходит для устройств, работающих от батарей, и обеспечивает безопасную передачу данных.

Передача данных в сети ZigBee осуществляется посредством цифровых трансиверов, работающих, как правило, в нелицензируемом диапазоне частот 2,4 ГГц. Используется 16 каналов (с 11 по 26) с интервалом 5 МГц. Данные передаются дифференциальными сигналами, где разница напряжений между проводниками одной полярности соответствует логической единице, а

разница напряжений другой полярности – логическому нулю. Максимальная скорость передачи данных в сети ZigBee составляет 250 кбит/с.

Особенностью ZigBee является поддержка ячеистой (mesh) топологии сети. Это означает, что устройства могут обмениваться данными не только напрямую, но и через другие узлы сети. При выходе из строя одного из узлов сеть автоматически перестраивается, прокладывая обходной маршрут для передачи данных. Это значительно повышает надежность и отказоустойчивость системы. Дальность действия одного узла в помещении обычно составляет 10-20 метров, но за счет ретрансляции сигнала через другие узлы общая дальность действия сети может быть значительно увеличена. Теоретически, сеть ZigBee может включать в себя до 240 устройств.

Таким образом, в системе АСУНО используется комбинация проводных (RS-485) и беспроводных (ZigBee) технологий, обеспечивающая надежный и гибкий обмен данными между всеми элементами системы. Выбор конкретных технологий обусловлен требованиями к дальности связи, скорости передачи данных, энергопотреблению и стоимости оборудования.

Разрабатываемая система автоматизированного управления наружным освещением (АСУНО) имеет иерархическую трехуровневую структуру. [25].

На нижнем уровне системы располагаются непосредственно объекты управления – осветительные приборы, а также исполнительные устройства и датчики, обеспечивающие их работу. В качестве исполнительного устройства, коммутирующего силовые цепи, применяется магнитный пускатель, например, модели ПМЛ-1160М или аналогичный. Этот пускатель предназначен для работы в сетях переменного тока с напряжением питания цепи управления 220 В. Он имеет три нормально разомкнутых силовых контакта и один вспомогательный нормально разомкнутый контакт. Номинальная коммутируемая мощность пускателя при напряжении 400 В (в категории применения АС-3) составляет 5,5 кВт. Подключение проводников осуществляется винтовым способом.

Для автоматического управления освещением в зависимости от уровня естественной освещенности используется датчик освещенности (фотореле), например, модели PS-4 или аналогичный. Этот датчик, выполненный в пластиковом корпусе, предназначен для работы в сетях переменного тока напряжением 220 В и имеет класс защиты IP43, что ограничивает его применение внутри помещений, либо требует установки в защищенный шкаф(ЯУОТ). Номинальный ток датчика составляет 10 А. Стоит учесть, что, в зависимости от производителя, характеристики фотореле с маркировкой PS-4 могут отличаться. Поэтому в данном контексте, PS-4, в первую очередь, обозначает тип устройства (фотореле), а не конкретную модель.

Средний уровень системы представлен программируемыми логическими контроллерами (ПЛК). Контроллеры осуществляют сбор информации от датчиков нижнего уровня, обработку данных, формирование управляющих сигналов для исполнительных устройств (пускателей) и передачу информации на верхний уровень системы. В качестве примера можно привести контроллер DECONT-A9E2-16G или аналогичный. Этот контроллер питается от источника постоянного тока напряжением 24 В (допустимый диапазон напряжения питания – от 11 до 30 В) и потребляет ток не более 140 мА (без учета интерфейсных плат). Он оснащен 32-разрядным RISC-процессором с ядром ARM9, работающим на частоте 200 МГц. Объем FLASH-памяти составляет 16 Гб, а объем оперативной памяти SDRAM – 128 Мб. Для связи с другими устройствами контроллер имеет встроенные интерфейсы: один порт RS-485 (со скоростью передачи данных до 307,2 кбод) и два порта 10/100Base-TX (Ethernet).

Верхний уровень системы – это автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, представляющее собой, как правило, персональный компьютер, установленный в диспетчерском пункте. АРМ обеспечивает визуализацию данных о состоянии системы освещения, позволяет оператору контролировать работу системы, изменять параметры управления (например, уставки срабатывания фотореле, расписание работы освещения) и

осуществлять дистанционное управление осветительными установками. Связь между АРМ и контроллерами среднего уровня осуществляется по проводным или беспроводным каналам связи (в зависимости от выбранной архитектуры системы).

Такая трехуровневая архитектура обеспечивает гибкость, масштабируемость и надежность системы управления наружным освещением.

Выбор технических средств должен производиться с учетом совместимости технических средств, модульности, надежности, максимальной эффективности и системного подхода.

Решение задач управления характеризуется интеграцией управления в единую систему при наличии тесного логического и информационного взаимодействия между ними. В соответствии с этим выбор КТС определяется функциональной структурой АСУ, организационной структурой управления и информационной структурой, устанавливающей содержание и последовательность этапов обработки информации в системе. КТС АСУ должен выполнять следующие функции: связь с объектом и сбор информации, передачу информации.

Ящик управления представляет собой комплектное низковольтное устройство, обеспечивающее комплексную защиту и автоматизацию управления технологическими процессами. Ящики управления разрабатываются на базе микропроцессорной техники с возможностью регистрации событий и параметров и интеграции в систему АСУТП. Ящик управления освещением используется «УРАЛ СП АИС 2021» (рис. 3).



Рисунок 3 - Внешний вид ЯУО «УРАЛ СП АИС 2021»

В ящике управления установлено два программируемых логических контроллера ДЕКОНТ-А9Е2-16G

Контроллер обеспечивает взаимодействие с модулями ввода/вывода, производит необходимую первичную обработку информации, реализует управляющие алгоритмы, ведёт локальные архивы технологических параметров, выступает узлом в распределенных автоматизированных системах на основе сетей уровней LAN , производит непрерывную самодиагностику технического состояния. Для передачи информации контроллер имеют ряд коммуникационных интерфейсов. Внешний вид контроллеров приведен на рисунках 4 – 7.

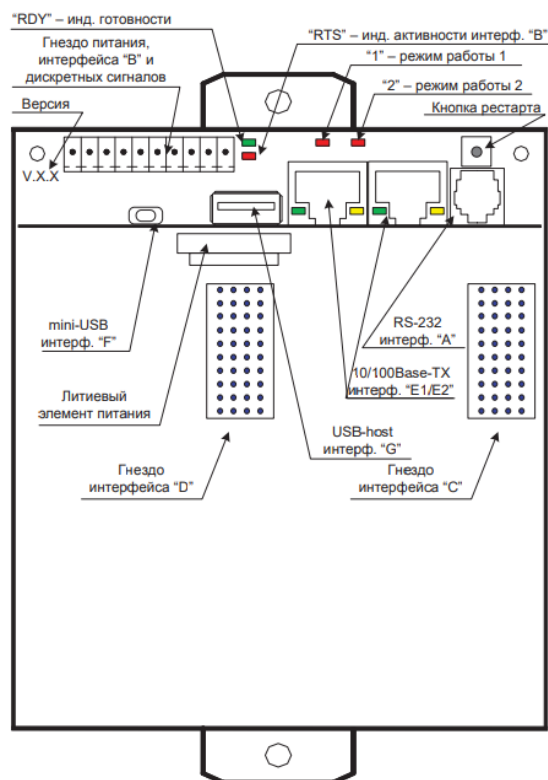


Рисунок 4 - Перечисление доступных разъемов для подключения к контроллеру

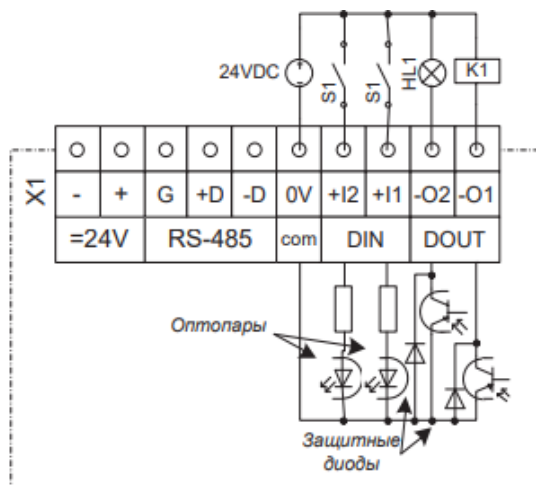
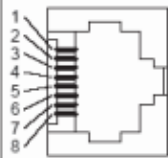


Рисунок 5 - Пояснение к подключению гнезда интерфейса "B"

	Контакт	Сигнал	Цвет провода
	8	не использован	коричневый
	7	не использован	белый/коричневый
	6	RD-	зеленый
	5	не использован	белый/синий
	4	не использован	синий
	3	RD+	белый/зеленый
	2	TD-	оранжевый
	1	TD+	белый/оранжевый

Гнездо

Рисунок 6 - Пояснение к подключению гнезда интерфейса “E1/E2”



Рисунок 7 - Внешний вид контроллера ДЕКОНТ-A9E2-16G

Контроллер обеспечивает передачу данных, взаимодействие с модулями ввода/вывода, производит необходимую первичную обработку информации, реализует управляющие алгоритмы, ведёт локальные архивы технологических параметров, выступает узлом в распределенных автоматизированных системах на основе сетей уровней LAN и производит непрерывную самодиагностику технического состояния. На нижнем уровне используется фотореле PS-4, изображенном на рисунке 8.



Рисунок 8 - Внешний вид фотореле PS-4

Фотореле PS предназначено для автоматического управления (включением и отключением) освещением на улице в зависимости от уровня освещенности. Фотореле PS-4 соответствует ГОСТ 30850.2.1.

Осветительный прибор ДКУ УРАЛ - СП Ф 50 Вт ШБ, рисунок 9, таблица 3.



Рисунок 9- Внешний вид осветительного прибора

Таблица 3- Технические характеристики осветительного прибора

Наименование	Значение
Модель	ДКУ УРАЛ - СП - Ф (встроенное фотореле)
Производитель	УСТЗ
Световой поток	Лм7095
Цветовая температура	К4000
Состав корпуса	Композитный материал Ledplast
Светодиоды	Cree
Кривая силы света ШБ	160
Частота	Гц50±0,4 (ГОСТ 32144-2013)
Напряжение питания	160-274
Индекс цветопередачи	CRI80
Рассеиватель	Ударопрочный поликарбонат
Защита от 380 В	есть

В данном подразделе был произведен выбор оборудования и датчиков для наружного освещения.

2.5 Описание схемы управления наружного освещения

Схема управления наружным освещением железнодорожной станции должна обеспечивать надежное, безопасное и эффективное функционирование системы в различных режимах.

Любая нормальная схема управления наружным освещением должна иметь 3 режима работы:

- ручной режим;
- дистанционный режим;
- автоматический режим.

Одна из таких схем указана на рисунке 10.

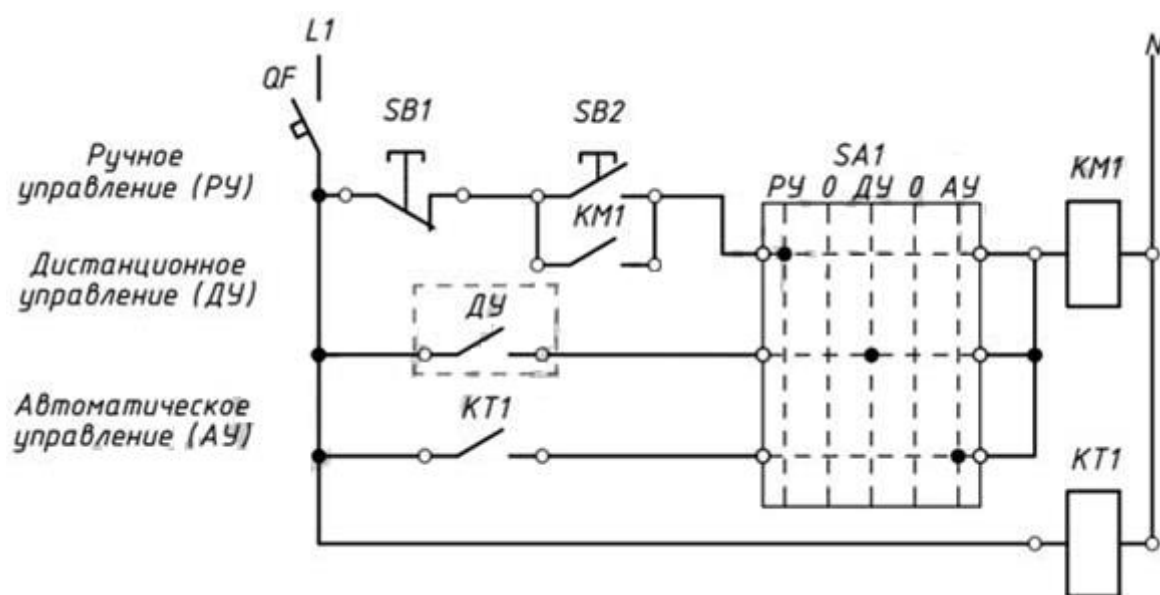


Рисунок 10 – Универсальная типовая схема наружным освещением

Рассмотрим назначение всех коммутационных аппаратов и изделий.

QF – автоматический выключатель, который предназначен для защиты цепей управления.

KM1 – электромагнитный контактор, который необходим для коммутации силовой цепи (включения/отключения наружного освещения).

КТ1 – астрономический таймер либо фотореле, которые управляют освещением в зависимости от времени суток или освещенности.

SA1 – кулачковый переключатель выбора режима работы схемы управления.

SB1 – кнопка «Стоп» с размыкающим контактом без фиксации для отключения наружного освещения в ручном режиме.

SB2 – кнопка «Пуск» с замыкающим контактом без фиксации для включения наружного освещения в ручном режиме.

Схема работает очень просто. Изначально необходимо выбрать необходимый режим работы. В ручном режиме освещение включается и отключается кнопками «Пуск» и «Стоп», которые могут быть установлены на шкафу управления либо вынесены на пост охраны. В дистанционном режиме для управления освещением требуется «сухой контакт» от внешнего устройства. В автоматическом режиме управление осуществляется за счет реле (фотореле, астрономического таймера).

2.6 Оценка эффективности работы разработанной системы освещения

Оценка эффективности модернизированной системы наружного освещения железнодорожной станции – это комплексный анализ, охватывающий технические, экономические и социальные аспекты. Цель оценки – определить, насколько предлагаемые решения соответствуют поставленным задачам и позволяют достичь желаемых результатов.

Модернизация системы освещения оказывает положительное влияние на условия труда и безопасность как персонала станции, так и пассажиров. Качественное освещение путей, стрелочных переводов и платформ снижает риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с движением поездов и маневровыми работами. Улучшение освещенности рабочих мест повышает производительность труда, снижает утомляемость и вероятность ошибок

работников. Создание комфортной и безопасной световой среды на платформах, привокзальной площади и пешеходных переходах способствует повышению удовлетворенности пассажиров и снижению риска травматизма. Кроме того, хорошо освещенная территория станции снижает вероятность противоправных действий.

В таблице 4 приведены показатели интенсивности отказов системы.

Таблица 4 – Показатели интенсивности отказов системы автоматизации

Наименование	Значение интенсивности и отказов, $\lambda_i \cdot 10^{-5}$, 1/ч	Количество	Результирующая интенсивность отказов, $\lambda_{\Sigma i} \cdot 10^{-5}$, 1/ч
Фотореле PS-4	0,32	3	0,96
Магнитный пускатель ПМЛ-1160М	0,8	1	0,8
Контроллер ДЕКОНТ-А9Е2-16G	0,09	2	0,18
Блок питания DRAN120 – 24В	0,043	1	0,043
Осветительный прибор ДКУ УРАЛ - СП Ф 50 Вт ШБ	0,009	27	0,243
Провод 5bites FS5525-305BE	0,022	5	0,11
Кабель ВВГнг(А)-LS 3x2,5-0,66	0,05	1	0,05
Интенсивность отказов всех элементов			2,869

Расчет общей суммы интенсивности отказов системы автоматизации:

$$\lambda_{\text{общ.}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \dots + \lambda_n, \quad (20)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots, \lambda_n$ – значение интенсивности отказов элементов системы автоматизации.

Интенсивность отказов АСУ наружного освещения определяем по формуле

$$\lambda_{\text{общ.}} = 0,96 + 0,8 + 0,18 + 0,043 + 0,243 + 0,11 + 0,05 = 2,386 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}$$

Интенсивность отказов системы наружного освещения составляет $2,869 \cdot 10^{-5}$ 1/ч, что не превышает нормативов и соответствует заводским номинальным значениям.

$$T_{cp} = 1 / (4 \cdot 10^{-5}) = 41600 \text{ часов}$$

Соответственно система готова к длительной эксплуатации.

Выводы:

В рамках второго раздела проекта были детально рассмотрены вопросы, связанные с модернизацией системы наружного освещения железнодорожной станции.

Проведено подробное обоснование необходимости модернизации. Установлено, что существующая система освещения характеризуется низкой энергоэффективностью, неудовлетворительным качеством света, недостаточным уровнем и неравномерностью освещенности, а также отсутствием современных средств управления и мониторинга. Все это приводит к повышенным эксплуатационным расходам, снижению безопасности движения и не соответствует современным требованиям.

3 Расчет затрат на реализацию проекта

3.1 Описание основных статей затрат

Определение сметной стоимости проекта реконструкции системы наружного освещения железнодорожной станции является важным этапом, позволяющим оценить объем необходимых финансовых ресурсов и обосновать экономическую целесообразность предлагаемых решений. Расчет затрат производится на основе проектных решений, объемов работ, а также действующих цен на оборудование, материалы и услуги.

Основные затраты на реализацию проекта можно разделить на несколько крупных категорий.

Прежде всего, это затраты на оборудование. Сюда входит стоимость светодиодных светильников, опор освещения (включая, возможно, мобильные короны), щитов управления освещением (ЩУО), автоматических выключателей, УЗО, ОПН, контакторов, реле времени, фотореле, контроллеров (при использовании АСУО), датчиков движения (если предусмотрены проектом), счетчиков электроэнергии и других комплектующих. Стоимость оборудования определяется на основании прайс-листов поставщиков и производителей с учетом транспортных и заготовительно-складских расходов.

Следующая крупная статья затрат – это стоимость материалов. К ним относятся кабели (силовые и контрольные), трубы для прокладки кабеля (при необходимости), крепежные изделия, заземляющие проводники, расходные материалы (изоляционная лента, наконечники, гильзы) и т.д. Стоимость материалов определяется на основании проектных спецификаций и действующих цен.

Значительную часть затрат составляют строительно-монтажные работы. Сюда входят:

- демонтаж существующего оборудования (светильников, опор,

кабелей);

- земляные работы (рытье траншей для прокладки кабеля, подготовка фундаментов под опоры);
- монтаж опор освещения;
- монтаж светильников;
- прокладка кабельных линий;
- монтаж щитов управления освещением (ЩУО);
- подключение оборудования к электрической сети;
- пусконаладочные работы.
- стоимость строительно-монтажных работ определяется на основании сметных норм и расценок (ГЭСН, ФЕР, ТЕР), а также с учетом трудоемкости работ и квалификации персонала.

Также необходимо учитывать прочие затраты, к которым могут относиться:

- затраты на проектно-изыскательские работы;
- затраты на получение разрешений и согласований;
- транспортные расходы;
- накладные расходы;
- непредвиденные расходы (обычно принимаются в размере 2-3% от общей стоимости).

Подробный расчет затрат по каждой статье выполняется в сметной документации, разрабатываемой в составе рабочего проекта. Общая стоимость проекта определяется суммированием всех затрат.

Помимо перечисленных выше основных статей затрат (оборудование, материалы, строительно-монтажные работы, прочие затраты), при определении полной стоимости проекта реконструкции системы наружного освещения необходимо учитывать и другие возможные расходы.

Таким образом, формирование сметной стоимости проекта реконструкции системы наружного освещения – это сложный и многоэтапный

процесс, требующий учета всех возможных затрат, начиная от стоимости оборудования и заканчивая расходами на обучение персонала и утилизацию отходов. Только тщательный и всесторонний анализ позволяет получить достоверную оценку стоимости проекта и принять обоснованное решение о его реализации.

3.2 Расчет затрат на реализацию

Расчет затрат на реализацию проекта реконструкции системы наружного освещения выполняется на основе проектных решений, объемов работ, спецификаций оборудования и материалов, а также действующих цен и сметных нормативов. В данном разделе приводится общая методика расчета и примеры. Конкретные расчеты будут выполнены на этапе разработки рабочей документации с использованием сметного программного обеспечения.

Расчет затрат ведется по каждой статье, указанной в разделе 4.1. Для каждой статьи определяется объем работ (количество оборудования, материалов, трудозатраты) и стоимость единицы измерения. Стоимость по каждой статье определяется как произведение объема работ на стоимость единицы измерения. Общая стоимость проекта определяется суммированием затрат по всем статьям.

Для освещения путей требуется 100 светодиодных светильников мощностью 150 Вт. Стоимость одного светильника (с учетом НДС и транспортных расходов) составляет, к примеру, 12 000 рублей. Тогда общая стоимость светильников составит:

$$100 \text{ шт.} \cdot 12\,000 \text{ руб./шт.} = 1\,200\,000 \text{ руб.}$$

Аналогично рассчитывается стоимость опор освещения, ЩУО, автоматических выключателей и другого оборудования.

Результаты расчета затрат сведены в таблицу 5.

Таблица 5 - Сводная таблица затрат

Статья затрат	Объем работ	Ед. изм.	Стоимость ед. изм., руб.	Общая стоимость, руб.
Оборудование	-	-	-	-
Светильники светодиодные 150 Вт	100	шт.	12 000	1 200 000
Светильники светодиодные 80 Вт	50	шт.	8 000	400 000
Опоры освещения	60	шт.	40 000	2 400 000
Щиты управления освещением (ЩУО)	10	шт.	50 000	500 000
Автоматические выключатели, УЗО, ОПН и др.	-	-	-	200 000
Материалы	-	-	-	-
Кабель АВБШв 4х16	5000	м	250	1 250 000
Кабель АВБШв 4х25	1000	м	400	400 000
Трубы для прокладки кабеля	500	м	100	50 000
Крепежные изделия, метизы и др.	-	-	-	100 000
Строительно-монтажные работы	-	-	-	-
Демонтаж старого оборудования	-	-	-	150 000
Земляные работы	-	-	-	300 000
Монтаж опор освещения	60	шт.	15 000	900 000
Монтаж светильников	150	шт.	2 000	300 000
Прокладка кабельных линий	6000	м	150	900 000
Монтаж ЩУО	10	шт.	10 000	100 000
Пусконаладочные работы	-	-	-	200 000
Прочие затраты	-	-	-	-
Проектно-изыскательские работы	-	-	7%	679 000
Непредвиденные расходы (2%)	-	-	-	194 000
ИТОГО:	-	-	-	10 373 000

Для прокладки кабельных линий требуется 5000 метров кабеля АВБШв 4×16. Стоимость одного метра кабеля (с учетом НДС) составляет, к примеру, 250 рублей. Тогда общая стоимость кабеля составит:

$$5000 \text{ м} \cdot 250 \text{ руб./м} = 1\,250\,000 \text{ руб.}$$

Аналогично рассчитывается стоимость труб, крепежных изделий и других материалов.

Стоимость строительно-монтажных работ определяется на основании сметных норм и расценок (ГЭСН, ФЕР, ТЕР). Для каждого вида работ (земляные работы, монтаж опор, монтаж светильников, прокладка кабеля) определяется объем работ (в кубических метрах, штуках, метрах) и стоимость единицы измерения (в рублях).

Например, стоимость монтажа одной опоры освещения (включая земляные работы, установку и подключение) может составлять, к примеру, 15 000 рублей. Если требуется установить 50 опор, то общая стоимость монтажа опор составит:

$$50 \text{ шт.} \cdot 15\,000 \text{ руб./шт.} = 750\,000 \text{ руб.}$$

Аналогично рассчитывается стоимость других видов работ.

3.3 Оценка эффективности проекта

Оценка эффективности проекта реконструкции системы наружного освещения железнодорожной станции является завершающим этапом экономических расчетов и служит для обоснования целесообразности предлагаемых решений. Эффективность оценивается с точки зрения экономии финансовых ресурсов, а также с учетом сопутствующих положительных эффектов (повышение безопасности, улучшение условий труда).

Основным показателем экономической эффективности является срок окупаемости проекта. Он рассчитывается как отношение капитальных затрат на реализацию проекта (определенных в разделе 4.2) к годовой экономии, получаемой в результате снижения энергопотребления и эксплуатационных расходов.

Капитальные затраты на реконструкцию (из раздела 4.2): 10 373 000 руб.

Годовое потребление электроэнергии существующей системой: 500 000 кВт·ч.

Годовое потребление электроэнергии модернизированной системой: 150 000 кВт·ч.

Тариф на электроэнергию: 6 руб./кВт·ч.

Экономия на эксплуатационных расходах (в год): 200 000 руб.

Годовая экономия на электроэнергии: $(500\,000\text{ кВт}\cdot\text{ч} - 150\,000\text{ кВт}\cdot\text{ч}) \cdot 6\text{ руб./кВт}\cdot\text{ч} = 2\,100\,000\text{ руб.}$

Общая годовая экономия: $2\,100\,000\text{ руб.} + 200\,000\text{ руб.} = 2\,300\,000\text{ руб.}$

Срок окупаемости: $10\,373\,000\text{ руб.} / 2\,300\,000\text{ руб./год} \approx 4,5\text{ года.}$

Помимо прямой экономической выгоды, необходимо учитывать и другие положительные эффекты от модернизации системы освещения:

- Повышение безопасности движения поездов и маневровых работ.
- Улучшение условий труда персонала станции.
- Создание более комфортных и безопасных условий для пассажиров.
- Снижение риска травматизма и аварийных ситуаций.
- Улучшение имиджа железнодорожной станции.

Эти факторы, хотя и не всегда поддаются точной количественной оценке, также играют важную роль при принятии решения о целесообразности модернизации системы освещения.

Таким образом, оценка эффективности проекта реконструкции системы наружного освещения включает в себя как расчет экономических показателей (срок окупаемости), так и анализ качественных улучшений, связанных с повышением безопасности, надежности и комфорта.

Выводы:

В разделе проекта выполнен расчет затрат на реализацию проекта реконструкции системы наружного освещения железнодорожной станции и проведена оценка его экономической эффективности. Проведенный расчет затрат и оценка эффективности позволяют сделать вывод о том, что проект реконструкции системы наружного освещения железнодорожной станции является экономически обоснованным и технически целесообразным.

Заключение

В рамках данного проекта была разработана концепция реконструкции системы наружного освещения железнодорожной станции. Целью проекта являлось создание современной, надежной, энергоэффективной и безопасной системы освещения, соответствующей действующим нормативным требованиям и обеспечивающей комфортные условия для работы персонала и передвижения пассажиров.

В ходе работы был проведен анализ существующей системы освещения, который выявил ряд существенных недостатков: использование устаревших и неэффективных источников света, недостаточный и неравномерный уровень освещенности, отсутствие гибкой системы управления и мониторинга, а также высокие эксплуатационные расходы.

На основании проведенного анализа были сформулированы основные требования к модернизируемой системе освещения, охватывающие параметры освещенности, качество света, энергоэффективность, надежность, безопасность, управляемость и удобство эксплуатации.

Разработан комплекс мероприятий по модернизации, включающий полную замену источников света на светодиодные светильники, замену или модернизацию осветительных приборов и опор, модернизацию системы электроснабжения, внедрение автоматизированной системы управления освещением (АСУО) и оптимизацию расположения осветительных приборов.

Выполнены необходимые расчеты: расчет электрических нагрузок, расчет освещенности (с использованием упрощенного метода в качестве примера), выбор сечений кабельных линий и аппаратов защиты. Предложены конкретные типы оборудования (светильники, опоры, кабели, ЩУО, датчики) с учетом требований к надежности, безопасности и энергоэффективности.

Особое внимание уделено вопросам охраны труда и техники безопасности при монтаже и эксплуатации системы освещения. Разработаны

мероприятия, направленные на предотвращение несчастных случаев и обеспечение безопасных условий труда для персонала.

Проведен расчет затрат на реализацию проекта и выполнена оценка его экономической эффективности. Установлено, что модернизация системы освещения является экономически целесообразной, так как позволяет значительно снизить потребление электроэнергии и эксплуатационные расходы. Расчетный срок окупаемости проекта (в приведенном примере) составляет около 4,5 лет.

Помимо экономического эффекта, модернизация системы освещения обеспечивает существенные социальные преимущества: повышение безопасности движения поездов и маневровых работ, улучшение условий труда персонала станции, создание более комфортных и безопасных условий для пассажиров, а также снижение риска противоправных действий на территории станции.

Таким образом, разработанный проект реконструкции системы наружного освещения железнодорожной станции представляет собой комплексное решение, позволяющее достичь поставленных целей и создать современную, надежную, энергоэффективную и безопасную систему освещения, отвечающую всем действующим нормам и требованиям. Реализация проекта будет способствовать повышению эффективности работы станции, снижению эксплуатационных расходов и улучшению условий труда и безопасности.

Список используемых источников

1. Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Знак, 2019. – 472 с. – ISBN 978-5-4373-0140-8.
2. Булатов О. Г., Прокопенко А. В. Теоретические основы светотехники и устройства источников света: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-2256-3.
3. ГОСТ 12.1.038-2022. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: дата введения 2023-06-01. – Москва: Стандартинформ, 2022. – 15 с.
4. ГОСТ ИЕС 60598-1-2017. Светильники. Часть 1. Общие требования и методы испытаний (с Поправкой, с Изменением № 1, утв. Приказом Росстандарта от 23.12.2020 № 1379-ст): дата введения 2018-07-01 (Изм. №1 с 2021-03-01). – Москва: Стандартинформ, 2020. – 138 с.
5. ГОСТ Р 50571.4.41-2022 (МЭК 60364-4-41:2017). Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током: дата введения 2023-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2022. – 44 с.
6. ГОСТ Р 58090-2019. Установки электрические для систем наружного освещения и световой сигнализации. Требования безопасности и методы испытаний: дата введения 2019-12-01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 27 с.
7. ГОСТ Р МЭК 62031-2019. Модули светодиодные для общего освещения. Требования безопасности: дата введения 2020-06-01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 39 с.
8. Зюзев А. М. Системы электроснабжения: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 344 с. – ISBN 978-5-507-46195-0.

9. Карантиров В. И. Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения: учебник. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 372 с. – ISBN 978-5-8114-9035-7.
10. Киреева Э. А., Аракелян В. Д. Электроснабжение объектов: учебник. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 304 с. – ISBN 978-5-16-014280-3.
11. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 398 с. – ISBN 978-5-16-016607-6.
12. Макаров Е. Ф. Расчет и проектирование систем электроснабжения: учебное пособие. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2021. – 287 с. – ISBN 978-5-00091-734-7.
13. Николаев А. А., Масленников О. В. Проектирование систем электроснабжения: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 240 с. – ISBN 978-5-8114-7696-2.
14. Осипов Ю. М., Петров А. А., Никитин В. В. Автоматизация технологических процессов: учебник. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 350 с. – ISBN 978-5-16-017201-5.
15. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е издание (в редакции 2023 г.). – Москва: КНОРУС, 2023. – 488 с. – ISBN 978-5-406-11181-0 (Примечание: ПУЭ постоянно обновляется, следует ссылаться на актуальную редакцию отдельных глав).
16. Родионов В. Г. Энергетические системы и сети: учебник. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 303 с. – ISBN 978-5-16-017337-1.
17. Соколов С. Е. Светотехническое оборудование и электрические источники света: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 124 с. – ISBN 978-5-8114-5021-4.
18. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95· (с Изменением № 1, утв. Приказом Минстроя России от 22.11.2019 № 702/пр; с Изменением № 2, утв.

Приказом Минстроя России от 20.12.2021 № 956/пр): дата введения 2017-05-08. – Москва: Стандартинформ, 2019 (с учетом изменений). – 131 с.

19. СП 76.13330.2016. Электротехнические устройства. Актуализированная редакция СНиП 3.05.06-85 (с Изменением № 1, утв. Приказом Минстроя России от 25.12.2020 № 848/пр): дата введения 2017-06-17. – Москва: Стандартинформ, 2020 (с учетом изменения). – 111 с.

20. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: утверждена распоряжением Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р // Собрание законодательства РФ. – 2021. – № 49 (часть III). – Ст. 8308.

21. Федотов А. И. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: учебник. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 304 с. – ISBN 978-5-16-016030-2.

22. Харлов Н. Н. Электрические аппараты: теория, конструкция, применение: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 432 с. – ISBN 978-5-8114-8920-7.

23. Шишигин С. Л., Шишигин И. С. Электрические нагрузки промышленных предприятий: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 200 с. – ISBN 978-5-8114-9367-9.

24. Щербаков Е. Ф., Щербакова С. Е. Проектирование систем светодиодного освещения: учебное пособие. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 169 с. – ISBN 978-5-16-018076-8.

25. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3: Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. – 10-е изд., стер. – Москва: МЭИ, 2019. – 964 с. – ISBN 978-5-383-01349-3.

Приложение А

Исходные данные

Таблица 6 – Исходные данные для расчета электрических нагрузок локомотивного депо

№ харак- терной кате- гории	Наименование ЭП	№ ЭП	Кол- во ЭП, шт.	Р _{уст} одного ЭП, кВт	Ки	cosφ	tgφ
1	2	3	4	5	6	7	8
Цех ТО-3							
1	Кран балка г/п 2т	1-2	2	12,6	0,3	0,5	1,73
2	Привод секционных ворот	3-4	24	2,6	0,05	0,75	0,88
3	Агрегат сварочный	5	1	76	0,35	0,55	1,52
4	Установка магнитоплазменного упрочнения	6	1	100	0,65	0,8	0,75
	Система водоподготовки	7	1	79,2	0,65	0,8	0,75
5	Насос перекачки масла	8-9	2	34,4	0,7	0,75	0,88
6	Стенд закаливанию бандажей	10	1	65	0,4	0,65	1,17
7	Выпрямитель	11-12	2	28,4	0,6	0,8	0,75
	Калорифер	13-19	7	21	0,6	0,8	0,75
Освещение							
1	Потолочное ДРЛ	20	32	0,4	0,9	0,95	0,33
2	Подэстакадное и канавы ЛН	21	654	0,1	0,85	1	-
Цех ТО-2							
1	Выпрямитель сварочный	22-23	2	20	0,6	0,8	0,75
2	Привод секционных ворот	24-25	24	2,6	0,05	0,75	0,88
3	Насос	26-29	4	4,2	0,7	0,8	0,75
4	Фильтровентиляционный агрегат	30	1	60	0,4	0,6	1,33
Освещение							
1	Потолочное ДРЛ	31	36	0,25	0,9	0,95	0,33
2	Периметровое ЛН	32	40	0,2	0,85	1	-
	Подэстакадное и канавы ЛН	33	254	0,1	0,85	1	-
Реостатная							
1	Реостат нагрузочный	34-35	2	1,5	0,65	0,8	0,75
	Пункт экологического контроля	36	1	4,8	0,65	0,8	0,75
2	Агрегат сварочный	37	1	20	0,35	0,55	1,52
3	Сверлильный станок	38	1	1,8	0,14	0,5	1,73
Освещение							
1	Освещение ЛН	39	8	0,06	0,85	1	-

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8
Склад топлива							
1	Кран мостовой г/п 5т	40	1	30	0,3	0,5	1,73
2	Насос перекачки	41-43	2	34,4	0,7	0,8	0,75
3	Калорифер	44-58	15	4	0,6	0,8	0,75
Освещение							
1	Потолочное ДРЛ	59	22	0,4	0,9	0,95	0,33
2	Освещение ЛН	60	34	0,2	0,85	1	-
Цех ТР-3							
1	Выпрямитель сварочный	61-62	2	70	0,6	0,8	0,75
2	Нагреватель индукционный	63-65	3	14	0,8	0,95	0,33
	Кантователь	66-71	6	3	0,8	0,95	0,33
3	Кран козловой г/п 5т	72	1	18,2	0,3	0,5	1,73
	Кран мостовой г/п 10т	76	5	43	0,3	0,5	1,73
	Кран мостовой г/п 32т	77	1	55	0,3	0,5	1,73
4	Привод секционных ворот	78-79	12	2,6	0,05	0,75	0,88
5	Пресс литья капроновых изделий	80	1	16	0,75	0,98	0,20
6	Пресс отжима буртов бандажей	81	1	41,6	0,2	0,83	0,67
7	Скатоподъемник	82-85	4	11	0,35	0,65	1,17
	Домкрат	86-89	4	8	0,35	0,65	1,17
8	Насос	90	1	7,5	0,65	0,8	0,75
	Установка по обкатке тяговых эл. двигателей	91	1	160	0,65	0,8	0,75
	Установка магнитоплазменного упрочнения	92	1	100	0,65	0,8	0,75
	Устройство зарядно-разрядное	93-94	2	7	0,65	0,8	0,75
9	Станок балансировки роторов	95	1	14,5	0,14	0,5	1,73
	Станок для продорожки якорей	96	1	10	0,14	0,5	1,73
	Станок заточной	97	1	9,5	0,14	0,5	1,73
	Станок изготовления стопорных колец	98	1	12	0,14	0,5	1,73
	Станок индукционный	99	1	60,75	0,14	0,5	1,73
	Станок карусельный	100	1	45	0,14	0,5	1,73
	Станок колеснофрезерный	101	1	35,2	0,14	0,5	1,73
	Станок токарный	102	1	28	0,14	0,5	1,73
10	Станок шлифовки поршней	103	1	19,8	0,14	0,5	1,73
	Станок вертикально сверлильный	104	1	18	0,4	0,6	1,33
	Станок колесно-токарный	105	1	47,3	0,4	0,6	1,33
	Станок обдирочно-заточной	106	1	24,7	0,4	0,6	1,33
	Станок образивно-отрезной	107	1	13	0,4	0,6	1,33
	Станок обрезной ножовочный	108	1	27	0,4	0,6	1,33
	Станок шеечно-накатной	109	1	31,3	0,4	0,6	1,33

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8
11	Стенд дефектоскопии	110-111	2	35,5	0,7	0,65	1,17
	Стенд обкатки	112	1	70	0,7	0,65	1,17
	Стенд опрессовки	113	1	18,6	0,7	0,65	1,17
	Стенд поворотный	114	1	43	0,7	0,65	1,17
	Стенд ремонта водяных насосов	115	1	15	0,7	0,65	1,17
	Стенд сборки тележек	116	1	35	0,7	0,65	1,17
Освещение							
1	Потолочное ДРЛ	117	264	0,4	0,9	0,95	0,33
2	Периметровое и подэстакадное ЛН	118	240	0,2	0,85	1	-
	Канавы ЛН	119	216	0,1	0,85	1	-
Флотаторная							
1	Флотатор	120-121	2	2,4	0,65	0,8	0,75
	Насос	122	1	7,5	0,65	0,8	0,75
2	Электротельфер г/п 0,5т	123-124	2	1,6	0,3	0,5	1,73
Освещение							
1	Освещение ЛН	125	15	0,1	0,85	1	-
Котельная							
1	Система водоподготовки	126-127	2	79,2	0,7	0,8	0,75
	Насос	128-133	6	7,5	0,7	0,8	0,75
2	Теплообменник		2	200	0,55	0,95	0,33
Освещение							
1	Освещение ЛН	134	80	0,1	0,85	1	-
Здание цеха ТР-1							
Цех ТР-1							
1	Кран мостовой г/п 5т	135	1	13,62	0,3	0,5	1,73
	Кран мостовой г/п 10т	136-137	2	43	0,3	0,5	1,73
2	Агрегат заправочный	138-139	2	2,2	0,7	0,65	1,17
3	Скатоподъёмник	140-141	2	11	0,35	0,65	1,17
	Электродомкрат	142-144	3	3	0,35	0,65	1,17
4	Комплекс ввода-вывода	145-147	3	50	0,65	0,8	0,75
	Преобразователь	148	1	40	0,65	0,8	0,75
	Устройство для диагностики	149-150	2	9,5	0,65	0,8	0,75
	Установка для опрессовки	151	1	1,5	0,65	0,8	0,75
	Установка для промывки	152	1	5,5	0,65	0,8	0,75
5	Привод секционных ворот	153-154	24	2,6	0,05	0,75	0,88
Отделение топливной аппаратуры							
1	Кран мостовой г/п 1,0т	155-156	2	2,99	0,3	0,5	1,73
2	Стенд для регулировки	157-158	2	12	0,4	0,65	1,17
	Стенд для испытания	159	1	12,5	0,4	0,65	1,17
Автотормозное отделение							
1	Кран мостовой г/п 1,0т	160	1	2,99	0,3	0,5	1,73
2	Настольно-сверильный станок	161	1	0,75	0,4	0,6	1,33
3	Компрессор	162-163	2	5,5	0,65	0,8	0,75

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8
Электроаппаратный цех							
1	Кран мостовой г/п 1,0т	164	1	2,62	0,3	0,5	1,73
2	Стенд для испытания	165-167	3	10	0,4	0,65	1,17
Экспериментальный цех							
1	Кран мостовой г/п 1,0т	168	1	2,62	0,3	0,5	1,73
2	Токарно-винторезный станок	169	1	11	0,4	0,6	1,33
	Вертикально-сверлильный станок	170	1	13	0,4	0,6	1,33
3	Заточной станок	171	1	11,3	0,14	0,5	1,73
	Трубогибочный станок	172	1	9,5	0,14	0,5	1,73
	Гильотинные ножницы	173	1	20	0,14	0,5	1,73
	Маятниковая пила по металлу	174	1	5,5	0,14	0,5	1,73
4	Вальцы трёхвалковые	175	1	1,1	0,55	0,8	0,75
	Листогибочный гидравлический пресс	176	1	2,2	0,55	0,8	0,75
	Гидравлический пресс	177	1	7,5	0,55	0,8	0,75
5	Электропечь	178	1	25	0,8	0,95	0,33
Кузнечное отделение							
1	Кран мостовой г/п 1,0т	179	1	2,99	0,3	0,5	1,73
2	Точильно-шлифовальный станок	180	1	15	0,4	0,6	1,33
3	Молот ковочный	181	1	22	0,7	0,8	0,75
	Шкаф управления водяной закалочной ванны	182	1	16	0,7	0,8	0,75
	Шкаф управления масляной закалочной ванны	183	1	11	0,7	0,8	0,75
4	Кривошипный пресс	184	1	8,5	0,45	0,65	1,17
	Машина трубогибочная	185	1	5,5	0,45	0,65	1,17
	Комбинированные пресс-ножницы	186	1	4	0,45	0,65	1,17
5	Электропечь	187	1	35	0,8	0,95	0,33
Сварочное отделение							
1	Кран мостовой г/п 1,0т	188	1	2,99	0,3	0,5	1,73
2	Аргонодуговая сварка	189	1	5,5	0,35	0,55	1,52
3	Электропечь	190	1	25	0,8	0,95	0,33
Фильтровальное отделение							
1	Кран мостовой г/п 1,0т	191	1	2,62	0,3	0,5	1,73
2	Механический фильтр	192	1	1,1	0,5	0,7	1,02
3	Камера просушки кассет фильтров	193	1	134,95	0,7	0,95	0,33
Слесарно-механический участок							
1	Кран мостовой г/п 1,0т	194	1	2,62	0,3	0,5	1,73

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Станок универсальный	195	1	2,2	0,4	0,6	1,33
	Станок токарно-винторезный	196	1	11	0,4	0,6	1,33
	Горизонтально-фрезерный станок	197	1	3	0,4	0,6	1,33
	Вертикально-фрезерный станок	198	1	5,5	0,4	0,6	1,33
	Точильно-шлифовальный станок	199	1	3	0,4	0,6	1,33
Отделение ремонта огнетушителей							
1	Стенд для осушки воздуха	200	1	2,5	0,85	0,85	0,62
2	Установка для гидравлических испытаний	201	1	0,55	0,7	0,8	0,75
	Установка для рециклинга порошка	202	1	1,8	0,7	0,8	0,75
	Установка для мойки деталей	203	1	24	0,7	0,8	0,75
Ремонтно-строительный цех							
1	Кран мостовой г/п 1,0т	204	1	2,99	0,3	0,5	1,73
2	Станок комбинированный	205	1	8,2	0,4	0,6	1,33
	Фуговально-рейсмусовый станок	206	1	7,5	0,4	0,6	1,33
	Точильно-шлифовальный станок	207	1	3	0,4	0,6	1,33
3	Сверлильный станок	208	1	1,5	0,14	0,5	1,73
	Станок распиловочный	209	1	4	0,14	0,5	1,73
Отделение водоподготовки							
1	Система водоподготовки для локомотивов	210	1	79,2	0,65	0,8	0,75
Маслохозяйство							
1	Кран электрический г/п 1,0т	211	1	3,5	0,3	0,5	1,73
2	Агрегат электронасосный	212-213	2	5,5	0,7	0,8	0,75
3	Донный нагреватель бочек		1	4	0,8	0,95	0,33
КРП АЛСН							
1	Комплекс проверочной аппаратуры	214-218	5	1,73	0,4	0,65	1,17
	Стол электромонтажника	219-220	2	5,2	0,4	0,65	1,17
Освещение							
1	Потолочное LED	221	80	0,2	0,85	1	-
	Периметровое LED	222	14	0,08	0,85	1	-
	Подэстакадное и канавы LED	223	816	0,1	0,85	1	-

Приложение Б
Результаты расчетов

Таблица 7 – Результаты расчета электрических нагрузок локомотивного депо

Наимено- вание цеха	Исходные данные					Расчетные величины		Эффек- тивное число ЭП n ₃	Коэфф. расчетной нагрузки K _p	Расчетная мощность			
	По заданию технологов			По справочным данным									
	№ хар- ой кате- гории	Кол- во ЭП, шт.	Установленная мощность, кВт		K _и	tgφ	P _{ср} , кВт			Q _{ср} , кВАр	P _p , кВт	Q _p , кВАр	S _p , кВА
			P _{уст.max}	P _{уст}									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Здание цеха ТО-3													
Цех ТО-3	1	2	12,6	25,2	0,3	1,73	7,56	13,09	13	0,85	297,67	261,95	396,52
	2	24	2,6	62,4	0,05	0,88	3,12	2,75					
	3	1	76	76	0,35	1,52	26,6	40,39					
	4	2	100	179,2	0,65	0,75	116,48	87,36					
	5	2	34,4	68,8	0,7	0,88	48,16	42,47					
	6	1	65	65	0,4	1,17	26	30,4					
	7	9	28,4	203,8	0,6	0,75	122,28	91,71					
	Итого	41		680,4	0,52		350,2	308,18					
Освещение	1	32	0,4	12,8	0,9	0,33	13,82	4,54			69,414	4,54	69,56
	2	654	0,1	65,4	0,85		55,59						
	Итого	686		78,2			69,41	4,54					
ИТОГО											367,08	266,5	453,62

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Здание цеха ТО-2													
Цех ТО-2	1	2	20	40	0,6	0,75	24	18					
	2	24	2,6	62,4	0,05	0,88	3,12	2,75					
Цех ТО-2	3	4	4,2	16,8	0,7	0,75	11,76	8,82	6	0,95	59,74	58,49	83,6
	4	1	60	60	0,4	1,33	24	32					
	Итого	7		179,2	0,35		62,88	61,57					
Освещение	1	36	0,25	9	0,9	0,33	9,72	3,19					
	2	294	0,2	33,4	0,85		28,39						
	Итого	330		42,4			38,11	3,19				38,11	3,19
ИТОГО											97,85	61,69	115,67
Здание реостатной													
Реостатная	1	3	7,8	7,8	0,65	0,75	5,07	3,8025	2	1,52	18,73	22,6	29,356
	2	1	20	20	0,35	1,52	7	10,63					
	3	1	1,8	1,8	0,14	1,73	0,25	0,44					
	Итого	5		29,6	0,42		12,32	14,87					
Освещение	1	8	0,06	0,48	0,85		0,41				0,408		
ИТОГО											19,14	22,6	29,61
Здание склада с топливом													
Склад топлива	1	1	30	30	0,3	1,73	9	15,59	9	0,9	83,844	70,84	109,76
	2	2	34,4	68,8	0,7	0,75	48,16	36,12					
	3	15	4	60	0,6	0,75	36	27					
	Итого	18		158,8	0,59		93,16	78,71					

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Освещение	1	22	0,25	5,5	0,9	0,33	5,94	1,95					
	2	34	0,2	6,8	0,85		5,78						
	Итого	56		12,3			11,72	1,95					
ИТОГО											95,56	72,79	120,13
Здание цеха ТР-3													
Цех ТР-3	1	2	70	140	0,6	0,75	84	63	38	0,85	1236,79	1252,76	1760,41
	2	9	14	126	0,8	0,33	100,8	33,13					
	3	7	55	385	0,3	1,73	115,5	200,05					
	4	12	2,6	31,2	0,05	0,88	1,56	1,37					
	5	1	16	16	0,75	0,20	12	2,44					
	6	1	41,6	41,6	0,2	0,67	8,32	5,59					
	7	8	11	88	0,35	1,17	30,8	36,01					
	8	5	160	800	0,65	0,75	520	390					
	9	9	60,75	546,75	0,14	1,73	76,54	132,58					
	10	6	47,3	283,8	0,4	1,33	113,52	151,36					
	11	8	70	560	0,7	1,17	392	458,3					
Итого	68		3018,3	0,48		1455	1473,8						
Освещение	1	264	0,4	105,6	0,9	0,33	114,04	37,48					
	2	456	0,2	69,6	0,85		59,16						
	Итого	720		175,2			173,21	37,48			173,21	37,48	177,22
ИТОГО											1410	1290,24	1911,23
Здание флотаторной													
Флотатор- ная	1	3	7,5	12,3	0,65	0,75	7,99	5,99	4	1,04	9,31	7,96	12,25
	2	2	1,6	3,2	0,3	1,73	0,96	1,66					
	Итого	5		15,5	0,58		8,95	7,66					
Освещение		15	0,1	1,5	0,85		1,27				1,27		
ИТОГО											10,59	7,969	13,25

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Здание котельной													
Котельная	1	8	79,2	203,4	0,7	0,75	142,38	106,78	6	0,92	333,39	164,77	371,88
	2	2	200	400	0,55	0,33	220	72,31					
	Итого	10		603,4	0,6		362,38	179,09					
Освещение	1	80	0,1	3	0,85		6,8				6,8		
ИТОГО											340,19	164,77	378
Здание цеха ТР-1													
Цех ТР-1	1	3	43	99,62	0,3	1,73	29,89	51,76	16	0,85	159,23	149,69	218,54
	2	2	2,2	4,4	0,7	1,169	3,08	3,6					
	3	5	11	31	0,35	1,17	10,85	12,68					
	4	8	50	216	0,65	0,75	140,4	105,3					
	5	24	2,6	62,4	0,05	0,88	3,12	2,75					
	Итого	42		413,42	0,45		187,34	176,1					
Отделение топливной аппаратуры	1	2	2,99	5,98	0,3	1,73	1,79	3,11	6	0,95	15,57	19,17	24,7
	2	3	12,5	36,5	0,4	1,17	14,6	17,07					
	Итого	5		42,48	0,38		16,4	20,18					
Автотормозное отделение	1	1	2,99	2,99	0,3	1,73	0,9	1,55	5	0,96	8,01	7,02	10,66
	2	1	0,75	0,75	0,4	1,33	0,3	0,4					
	3	2	5,5	11	0,65	0,75	7,15	5,36					
	Итого	4		14,74	0,57		8,35	7,32					
Электроаппаратный цех	1	1	2,62	2,62	0,3	1,73	0,79	1,36	6	0,95	12,1467	14,62	19,01
	2	3	10	30	0,4	1,17	12	14,03					
	Итого	4		32,62	0,39		12,79	15,39					

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Экспе- римен- тальный цех	1	1	2,62	2,62	0,3	1,73	0,79	1,36	8	0,94	40,24	34,23	52,83
	2	2	11	24	0,4	1,33	9,6	12,8					
	3	4	20	46,3	0,14	1,73	6,48	11,23					
	4	3	7,5	10,8	0,55	0,75	5,94	4,45					
	5	1	25	25	0,8	0,33	20	6,57					
	Итого	11		108,72	0,4		42,81	36,42					
Кузнечное отделение	1	1	2,99	2,99	0,3	1,73	0,897	1,55	6	0,92	71,11	49,63	86,72
	2	1	15	15	0,4	1,33	6	8					
	3	3	22	49	0,7	0,75	34,3	25,73					
	4	3	8,5	18	0,45	1,17	8,1	9,47					
	5	1	35	35	0,8	0,33	28	9,2					
	Итого	9		119,99	0,64		77,3	53,95					
Сварочное отделение	1	1	2,99	2,99	0,3	1,73	0,9	1,55	2	1,01	25	11,16	27,38
	2	1	5,5	5,5	0,35	1,52	1,92	2,92					
	3	1	25	25	0,8	0,33	20	6,57					
	Итого	3		33,49	0,68		22,82	11,05					
Фильтрова льное отделение	1	1	2,62	2,62	0,3	1,73	0,79	1,36	2	1,11	134,95	36,6	139,82
	2	1	1,1	1,1	0,5	1,02	0,55	0,56					
	3	1	134,95	134,95	0,7	0,33	94,46	31,05					
	Итого	3		138,67	0,69		95,8	32,97					
Слесарно- механическ ий участок	1	1	2,62	2,62	0,3	1,73	0,79	1,36	4	1,06	11	13,714	17,58
	2	5	11	21,7	0,4	1,33	8,68	11,57					
	Итого	6		24,32	0,39		9,47	12,93					

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Отделение ремонта огнетушителей	1	1	2,5	2,5	0,85	0,62	2,12	1,32	2	1	24	15,15	28,38
	2	3	24	26,35	0,7	0,75	18,44	13,83					
	Итого	4		28,85	0,71		20,57	15,15					
Ремонтно- строительный цех	1	1	2,99	2,99	0,3	1,73	0,9	1,55	6	0,95	8,69	12,22	14,99
	2	3	8,2	18,7	0,4	1,33	7,48	9,97					
	3	2	4	5,5	0,14	1,73	0,77	1,33					
	Итого	6		27,19	0,34		9,15	12,86					
Отделение водоподготовки	1	1	79,2	79,2	0,65	0,75	51,48	38,61	1	1	79,2	38,61	88,11
Маслохозяйство	1	1	3,5	3,5	0,3	1,73	1,05	1,82	6	0,92	10,99	7,95	13,57
	2	2	5,5	11	0,7	0,75	7,7	5,77					
	3	1	4	4	0,8	0,33	3,2	1,05					
	Итого	4		18,5	0,64		11,95	8,64					
КРП АЛСН	1	7	5,2	19,05	0,4	1,17	7,62	8,91	7	0,94	7,16	8,37	11,02
Освещение	1	910	0,2	98,72	0,85		83,91				83,91		83,91
ИТОГО											691,23	418,14	807,86
Мощность локомотивного депо											3031,63	2304,7	3808,23

Продолжение Приложения Б

Таблица 8 – Результаты расчета электрических нагрузок локомотивного депо

Номер фидера	Кол-во ЭП, шт	P _{ном.общ} , кВт	Средне- взвешен. коэфф. использ. K _{исрв}	Ср. мощность группы ЭП		Эффек- тивное число ЭП n _э	Коэфф. расчетной нагрузки K _р	Расчетная мощность			Расчетный ток
				P _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВАр			P _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА	I _р , А
ТП-26											
1.1	31	179,2	0,35	62,88	61,57	5	1,16	72,94	71,42	102,09	202,55
1.2	18	158,8	0,59	93,16	78,71	9	1,01	94,09	79,49	123,18	186,82
1.3	9	203,8	0,6	122,28	91,71	9	1,01	123,5	92,63	154,38	256,3
2.3	5	29,6	0,41	12,32	14,87	2	1,98	24,4	29,44	38,23	55,78
2.2	30	297,4	0,37	111,44	129,11	7	1,12	124,81	144,6	191,02	309,18
2.1	2	179,2	0,65	116,48	87,36	2	1,33	154,92	116,19	193,65	312,98
2КТП-В											
1.1	8	322,6	0,7	225,82	264,01	8	1	225,82	264,01	347,41	565,4
1.2	13	369,5	0,73	270,97	239,24	4	1,06	287,23	253,59	383,16	616,99
2.3	11	266	0,69	184,8	96,13	7	1	184,8	96,13	208,31	364,62
2.2	15	396,05	0,24	97,38	142,95	13	1,29	125,63	184,41	223,131	386,01
2.1	25	447,7	0,31	138,01	211,52	21	1	138,01	211,52	252,57	430,34
2КТП-А											
1.1	10	603,4	0,6	362,38	179,09	6	1,06	384,12	189,84	428,47	618,45
1.2	18	180,67	0,6	109,27	77,86	10	1	109,27	77,86	134,17	314,78
2.2	42	413,42	0,45	187,34	176,1	16	1	187,34	176,1	257,11	371,11
2.1	49	507,15	0,54	277,22	196,52	7	1,1	304,94	216,17	373,79	539,52

Продолжение Приложения Б

Таблица 9 – Выбор сечения кабелей

Номер фидера	I_p , А	$I_{дл. доп}$, А	Марка кабеля	F , мм ²	ΔU , В	ΔU , %
ТП-26						
1.1	202,55	210	АСБ	3x70	17,45	4,59
1.2	186,22	175	АСБ	3x50	15,61	4,1
1.3	256,3	295	АСБ	3x120	13,65	3,59
2.3	55,78	175	АСБ	3x50	11,69	3,07
2.2	309,18	295	АСБ	3x120	16,46	4,33
2.1	312,98	295	АСБ	3x120	16,67	4,38
2КТП-В						
1.1	565,4	490	ЦСБЛ	3x185	5,58	1,47
1.2	616,99	570	ЦСБЛ	3x240	9,7	2,55
2.3	364,62	340	ЦСБЛ	3x95	5,75	1,51
2.2	386,01	340	ЦСБЛ	3x95	12,17	3,2
2.1	430,34	390	ЦСБЛ	3x120	5,67	1,49
2КТП-А						
1.1	618,45	570	ЦСБЛ	3x240	11,67	3,07
1.2	314,78	340	ЦСБЛ	3x95	15,88	4,18
2.2	371,11	340	ЦСБЛ	3x95	17,56	4,62
2.1	539,52	490	ЦСБЛ	3x185	15,97	4,2

Продолжение Приложения Б

Таблица 10 – Результаты расчета токов КЗ

Точка КЗ	$r_{рез}, \text{МОм}$	$x_{рез}, \text{МОм}$	$z_{рез}, \text{МОм}$	$I_{КЗ}^{(3)}, \text{кА}$
ТП-26				
K1	47,81	67,38	82,62	2,795
K1.1	76,09	107,26	131,51	1,756
K1.2	92,75	284,46	299,2	0,772
K1.3	109,55	216,46	242,61	0,952
K2.3	85,28	196,51	214,22	1,078
K2.2	115,55	240,46	266,78	0,865
K2.1	121,55	264,46	291,06	0,793
2КТП-В				
K1	74,13	41,82	85,12	2,71
K1.1	44,9	79,54	91,34	2,528
K1.2	47,75	81,54	94,5	2,444
K2.3	44,99	84,28	95,54	2,417
K2.2	47,99	93,78	105,35	2,192
K2.1	44,95	82,04	93,55	2,468
2КТП-А				
K1	42,52	46,51	63,02	3,66
K1.1	53,6	51,33	74,21	3,112
K1.2	56,28	73,57	92,63	2,493
K2.2	55,68	71,67	90,76	2,544
K2.1	55,49	57,93	80,22	2,879

Продолжение Приложения Б

Таблица 11 – Определение сметной стоимости модернизации освещения территории локомотивного депо

Виды объектов или работ	Кол-во объектов, ед.	Стоимость строительно-монтажных работ, тыс.р.		Стоимость основных средств, тыс.р.		Прочие расходы, тыс.р.	ВСЕГО сметная стоимость, тыс.р.
		единицы	всего	единицы	всего		
1	2	3	4	5	6	7	8
Прямые расходы							
Строительные работы							
Демонтаж высоко-мачтовой осветительной установки	2 шт	5,254	10,509			0,315	10,824
Разработка грунта экскаваторами	58 м³	0,301	17,441			0,523	17,964
Разработка грунта вручную	58 м³	0,557	32,329			0,970	33,299
Устройство бетонных фундаментов	49,6 м³	7,634	378,65			11,359	390,009
Установка монтажного комплекта для ВМО-30	8 шт	92,99	743,92			22,318	766,239
Разработка грунта на действующей железной дороге: при прокладке кабеля под путями и в междупутье	690 м³	0,071	56,172			1,685	57,857
Устройство постели для кабеля в траншее	1917 м	0,064	123,61			3,708	127,319
Основные средства							
Высоко-мачтовая опора с мобильной короной	8 шт	40,61	324,84	457,62	3661	119,575	4105,4
Светильник 500 Вт	48 шт	0,402	19,315	48,479	2327	70,389	2416,7
Светильник 160 Вт	5 шт	0,402	2,012	28,938	144,69	4,401	151,103
Кабель АВБШв 4х50 мм²	1128 м	0,039	43,615	0,167	188,218	6,955	238,788

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8
Щит управления освещением	8 шт	1,582	12,657	7,930	63,440	2,283	78,380
ИТОГО прямых затрат			1765		6384,3	244,48	8393,878
Накладные расходы							882,535
Сметная прибыль							160,764
Всего сметная стоимость							9437,177