

Оглавление

Обозначения и сокращения.....	5
Введение.....	6
1. Аналитический обзор.....	7
1.1. Основные принципы освещения станций первой очереди	10
1.2. Освещение современных станций метрополитена.....	13
1.3. Нормативные документы для метрополитена.	19
1.4. Описание исследуемого объекта.	21
1.4.1. Конструкция и интерьер станции.....	21
1.4.2. Существующее освещение станции и световой аудит	22
2. Построение модели станции «Площадь Революции» и расчёт.....	26
2.1. Описание программ, используемых для расчёта.....	26
2.2. Построение модели станции	29
2.3. Расчёт модели.....	32
3. Результаты расчёта и выбор источников света	36
3.1. Реконструкция ОУ с использования КЛЛ.....	38
3.2. Реконструкция ОУ с использования СД.....	41
3.3. Сравнение источников по экономическим показателям	45
Заключение	54
Список литературы	55

Обозначения и сокращения

ОУ – осветительная установка

ОП – осветительные приборы

ЛЛ – люминесцентная лампа

КЛЛ – компактные люминесцентные лампы

ЛН – лампа накаливания

СД – светоизлучающий диод

ИС – источник света

R_a – индекс цветопередачи

T_ц – цветовая температура

Ф_v – световой поток

КПД – коэффициент полезного действия

ПРА – пускорегулирующий аппарат

Введение

Московский метрополитен отличается своим разнообразным архитектурным обликом - от торжественных и классических станций первой очереди, до современных смелых решений новых станций, и освещение является частью этого облика. В последнее время стала особо актуальна проблема энергосбережения, и это накладывает дополнительные требования к осветительным установкам в метрополитене. Необходимо находить компромисс между эстетическими требованиями к установке и экономическими показателями.

Для многих станций на сегодняшний день стал вопрос о модернизации освещения с целью получения более эффективного решения, но без особых изменений архитектурного облика станции. Целью данной работы является оценка качества освещения станции «Площадь Революции» и разработка эффективного варианта реконструкции освещения, удовлетворяющего нормативным документам нашей страны.

1. Аналитический обзор

Московский метрополитен, открытый 15 мая 1935 года, - это основа транспортной системы столицы. Он надежно связывает центр города с промышленными районами и жилыми массивами. На сегодняшний день доля Московского метрополитена в перевозке пассажиров среди предприятий городского пассажирского транспорта столицы составляет 56%.

Радиально-кольцевая структура Московского метрополитена воспроизводит исторически сложившуюся планировку Москвы. Линии метрополитена протянулись от центра города к его окраинам, обеспечивая пассажиров надежным и быстрым транспортом. Средняя дальность одной поездки в метро составляет около 14,5 километров. В среднем ежедневно услугами метрополитена пользуются более 7 миллионов пассажиров, а в будние дни этот показатель превышает 9 миллионов. Это наивысший показатель в мире.

Ежедневно по 12 линиям метрополитена, общей протяженностью 312,9 километров со 188 станциями пропускается более 10 тысяч поездов. Вагонный парк насчитывает более 5 тысяч, из которых формируется более пятисот составов.

Отдельно стоит сказать про архитектурное оформление московского метрополитена. Отличительной чертой его является торжественный стиль, использование многообразной палитры естественного камня в сочетании с деталями из металла и стекла, и, конечно, светотехнические решения, которые являются частью архитектурного облика станции.

К освещению в метро предъявляется ряд требований, отметим наиболее важные для проектирования ОУ [1]:

- Освещение станций должно обеспечивать хорошую ориентировку пассажиров в условиях высокой загрузки станций и быстрого распределения пассажиропотоков;

- ОУ должна гармонично сочетаться с архитектурным обликом станции, спектральный состав источников света должен подбираться с учётом отделки станции;
- ОУ не должна оказывать слепящего действия и создавать дискомфорт;
- Освещение в метро должно уменьшать ощущение придавленности, глубины, массивности сводов, так как характер освещения играет большую роль в создании впечатления лёгкости и насыщенности светом в помещениях метро;
- ОУ должна быть удобной в эксплуатации и экономичной;

Существует множество приёмов освещения станций, например, освещение с помощью подвесных светильников различной формы (Рисунок 1), декоративно оформленных торшеров (Рисунок 2), больших светящихся плоскостей из молочного стекла. Также распространённым приёмом является карнизное освещение свода станции (Рисунок 3).



Рисунок 1. Освещение центрального зала станции «Проспект Мира»



Рисунок 2. Освещение центрального зала станции «Новокузнецкая»

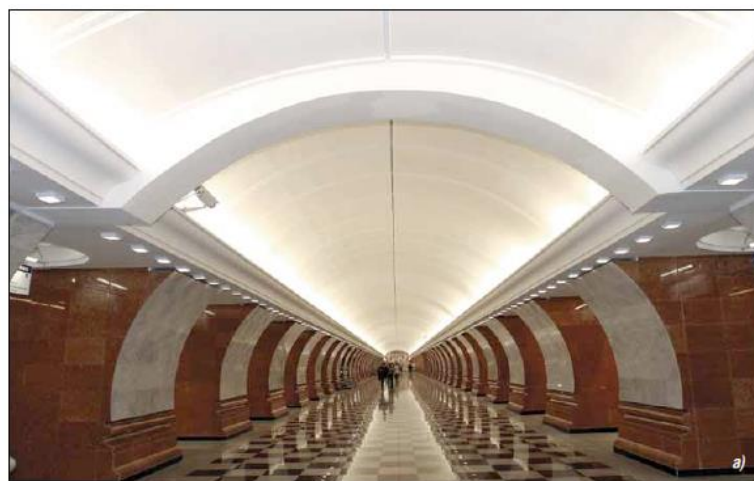


Рисунок 3. Освещение центрального зала станции «Площадь Победы»

1.1. Основные принципы освещения станций первой очереди

При проектировании освещения станций первой очереди, открытых в 30-е годы XX века, таких как Сокольники, Арбатская, Охотный ряд, Площадь Революции, перед светотехниками стояли сложные задачи – разработка новых светильников, методики светотехнических расчётов, исследования новых материалов и многое другое. Принципы освещения намечались совместно с архитектурным отделом Метропроекта, далее ВЭИ производил основные светотехнические расчёты, устанавливал мощность и размещение отдельных светильников, разрабатывал чертежи светильников.

Основной особенностью, в значительной мере определявшей характер и способ освещения станций, являлось резкое различие в интенсивностях надземного и подземного освещений. Поэтому для устранения такого резкого изменения уровня адаптации была принята система освещённостей, при которой наиболее интенсивное освещение устраивалось в надземном вестибюле. Затем освещённость постепенно снижалась при переходе к платформе станции [1].

Нормы освещения, принятые Метростроем в те годы были существенно ниже современных, что можно объяснить отсутствием эффективных источников света, небольшой нагрузкой на метрополитен.

Таблица 1. Нормируемые значения освещённости для станций первой очереди

	Платформа	Переходы	Подземные вестибюли	Надземные вестибюли
Нормируемое значение освещённости, лк	50	60	75	100

В качестве основного материала для светильников использовалось молочное стекло. В таком стекле находятся во взвешенном состоянии частицы глушителя – прозрачного вещества с отличающимся от стекла показателем

преломления. Меняя размер и концентрацию частиц глушителя, можно менять свойства стекла [2].

Первые образцы молочного стекла показали при испытании совершенно неудовлетворительное качество: коэффициент пропускания не превышал 20% при поглощении в стекле 30%. В результате дальнейших исследований и разработок были выпущены стёкла, имеющие следующие характеристики [1]:

- Коэффициент пропускания $\tau=0.4$;
- Коэффициент отражения $\rho=0.5$;
- Коэффициент пропускания $\alpha=0.1$;

При попытке дальнейшего увеличения коэффициента пропускания стекла путём уменьшения толщины молочного слоя было обнаружено появление значительного направленного пропускания.

Расчёт освещения станций встречал некоторые трудности, связанные со специфическим характером освещаемых помещений и с отсутствием экспериментальных характеристик запроектированных светильников.

Для определения световых характеристик применявшихся при облицовке станций материалов было проведено определение диффузного и зеркального отражения различных образцов полированного мрамора. Величина зеркального отражения не зависит от цвета мрамора, а лишь от обработки его поверхности и составляет примерно 5%. Величина диффузного отражения составляет от 4-5% для тёмного мрамора и 35-40% у светлых сортов мрамора [1].

Расчёт освещения проводился ручными методами и заключался в следующем: после выбора способа освещения ориентировочно устанавливалась мощность светильников и их месторасположение, после чего производился точечный поверочный расчёт. При поверочном расчёте прямая освещённость, создаваемая светильниками, суммировалась с освещённостью от светящихся отражённым светом сводов и стен помещений. Прямая освещённость от светильников малых размеров рассчитывалась точечным

методом. В случае применения длинных цилиндрических светильников из молочного стекла расчёт производился по формулам освещённости от светящихся линий ограниченной длины. Для расчёта освещённости от светящихся поверхностей произвольной формы, как, например, пятиконечной звезды на станциях Сокольники, применялись предложенные А.А.Гершун измерительные диаграммы.

Данные методы являются приближёнными, при их использовании вводятся различные упрощения, касающиеся усреднения коэффициентов отражения поверхностей, геометрии помещения и светильников.

Несмотря на погрешности, данные методы позволяли провести светотехнические расчеты для множества первых станций, получив результаты, удовлетворяющие нормы.

1.2. Освещение современных станций метрополитена

Со временем архитектурный облик метро меняется, сначала плафоны и люцетты, плитка и мрамор сменялись люстрами, настенными светильниками и полированным мрамором. В 50-е годы в практику освещения входят люминесцентные лампы. Поначалу архитекторы пытались приспособить их к старым традиционным формам: люминесцентными лампами «начинялись» люстры и настенные светильники, затем возникали новые более рациональные формы, отвечающие технологическим требованиям. В настоящее время для общего освещения станций всё чаще применяются КЛЛ и ЛЛ Т5 (с электронными ПРА) с повышенной световой отдачей, увеличенным сроком службы и высоким качеством цветопередачи. При проектировании освещения современных станций используются не только новые источники света, но и новые светотехнические конструкции, материалы, таким примером может служить открытая в 2012 году станция «Новокосино», где используется ОУ отражённого света:

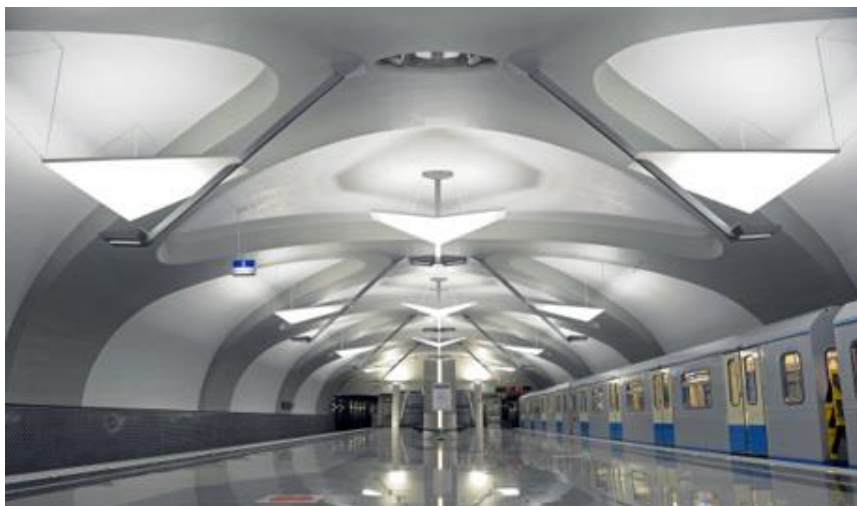


Рисунок 4. Центральный зал станции «Новокосино»

На станции «Сретенский бульвар», открытой в 2007 году, для достижения нужного результата используются разные источники света – для

карнизного освещения здесь применена модульная система из светильников с ЛЛ T5 и зеркальными отражателями, а для освещения художественных композиций в пилонах используются светильники с МГЛ, органично вписанные в общую архитектурную композицию (Рисунок 5).



Рисунок 5. Центральный зал станции «Сретенский бульвар»

Всё чаще стала применяться встроенная в платформу диффузно светящая полоса со светодиодами, служащая мерой безопасностью. Впервые такая полоса была применена на станции «Международная»: полоса разделена точечными светильниками со светодиодами на участки длиной 7.5 м, соответствующая пускорегулирующая аппаратура расположена в подплатформенном помещении и в щитовой освещения платформы. В отсутствии поезда на станции вся полоса светится, при приближении поезда к станции полоса гаснет участками по 7.5 м и загорается при отправлении состава [3].

Современные технологии затронули не только новые станции метро, реконструкция освещения проведена на многих старых станциях. На сегодняшний момент остро стоит проблема энергосбережения, а метро – это огромная энергопотребляющая система. По состоянию на январь 2008 г. на станциях метро насчитывается около четырёхсот тысяч световых точек, а в

перегонных тоннелях – более ста восьмидесяти тысяч, на сегодняшний день эти цифры ещё больше. Согласно [3] с 2012 года ограничена минимальная световая отдача, индекс цветопередачи, коэффициент мощности, спад светового потока источников, применяемых в установках внутреннего и наружного освещения. Данные значения для КЛЛ и СД приведены в Таблице 2.

Таблица 2. Минимальные значения параметров источников света согласно [3]

Минимальное значение параметра	Световая отдача, Лм/Вт	Индекс цветопередачи	Спад светового потока, %	Коэффициент мощности
КЛЛ мощностью 5-25Вт	60	80	Менее 15 за 2000 часов	не менее 0.5
КЛЛ мощностью более 25Вт	60	80	Менее 15 за 2000 часов	не менее 0.85
Светодиодные лампы	60	70	Менее 30 за 25000 часов	не менее 0.85

При реконструкции освещения старые лампы накаливания заменяются на КЛЛ, на смену ЛЛ Т12 приходят новые ЛЛ Т5 с ЭПРА. Необходимо обращать внимание не только на эффективность источника, но и на ПРА, так как именно он во многом определяет коэффициент мощности, срок службы источника, спад светового потока.

Примерами последних станций, на которых произведена реконструкция освещения, являются станции «Маяковская» и «Партизанская». На станции «Маяковская» отреставрированы и изготовлены оригинальные люстры над платформами. В них полностью заменена конструкция размещения ламп, их количество выросло с трех до пяти штук, с учетом требований норм безопасности перевозки пассажиров по метрополитену. Заменены лампы накаливания и люминесцентные лампы старого поколения на современные энергосберегающие компактные люминесцентные лампы. Произведена замена устаревших электромагнитных пускорегулирующих аппаратов – на электронные.

Для подсветки ниш куполов станции «Маяковская», были разработаны и изготовлены уникальные светильники с компактными люминесцентными лампами и электронными ЭПРА (Рисунок 6), позволяющие вписать данные световые приборы в архитектуру станции, а также коробка для их установки (взамен ранее расположенных в нишах открытых ламп накаливания и электромагнитных ПРА).



Рисунок 6. Реконструкция светильников станции «Маяковская»



Рисунок 7. Реконструкция освещения центрального зала станции
«Маяковская»

На станции «Партизанская» перед светотехниками стояла задача установить новые светильники, увеличив освещенность, и снизить затраты на эксплуатацию установки. Шел поиск светотехнического оборудования с большим сроком службы, хорошими показателями энергопотребления, КПД, удобными в эксплуатации. Всем этим условия отвечает светильник СОРА фирмы Zumtobel. Эти светильники хорошо вписались в интерьер станции, совместно со службами метрополитена была разработана и применена специальная система подъема и спуска светильников. Результат реконструкции представлен на Рисунке 8.

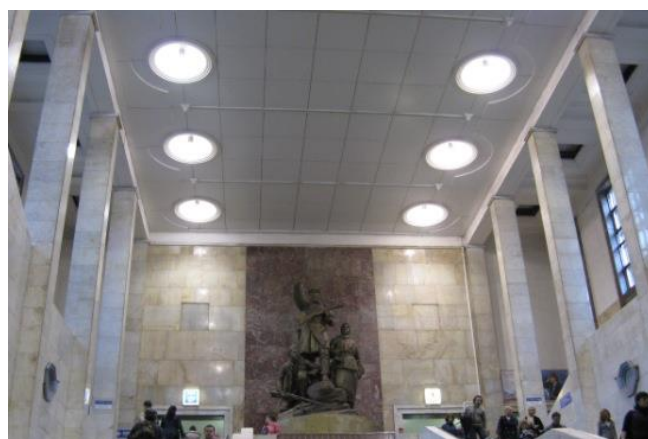


Рисунок 8. Реконструкция освещения на станции «Партизанская»

Реконструкция освещения позволяет, не изменив архитектурный облик станции, повысить эффективность установки, добиться требуемых уровней освещённости и, осветив незаметные раньше детали, дать возможность пассажирам заново открыть для себя данную станцию. К сожалению, на сегодняшний день освещённость на многих станциях метрополитена не соответствует нормам, из-за чего страдают не только пассажиры, но и архитектура станции.

1.3. Нормативные документы для метрополитена.

Основным нормативным документом в данной области для нашей страны является СП 32-105-2004 «МЕТРОПОЛИТЕНЫ» [5]. Освещению посвящена глава 5.10. Документ содержит нормируемые значения освещенности для различных пассажирских помещений (Таблица 3):

Таблица 3. Нормируемые значения освещённости для метрополитена

Помещение	Плоскость нормирования освещенности	Горизонтальная освещенность, лк
Станция:		
— средний и платформенный залы	Уровень пола	200
— кассовый зал	Уровень пола	200
— предэскалаторная зона	Отсутствует	100
— гребенки эскалаторов и лестничные марши	Уровень гребенки, ступени	100
Коридоры между станциями	Уровень пола	100
Входные коридоры и подуличные переходы	Уровень пола	75

Допустимое отклонение горизонтальной освещенности от нормативной должно составлять не более 20%.

В пункте 5.10.5.2. [5] оговаривается система освещения и источники света, используемые у ОУ. Рекомендуется применять общее равномерное или локализованное рабочее освещение, выполняемое световыми приборами с газоразрядными источниками света низкого и высокого давления. Использование ламп накаливания допускается при выполнении освещения исходя из архитектурно-художественных требований.

В пункте 5.10.5.4. [5] регламентируются качественные показатели: среднее значение показателя дискомфорта должно быть не более 20 с допустимым превышением до 20%. При наличии специальных архитектурно-художественных требований среднее значение цилиндрической освещенности должно быть равным 75 лк с допустимым отклонением не более 20%.

Комфортное освещение определяется не только допустимыми значениями горизонтальной освещённости, но и во многом качественными показателями: цилиндрическая освещённость определяет насыщенность помещения светом, а ограничение показателя дискомфорта позволяет исключить слепящее действие ОУ. Кроме этих показателей, на мой взгляд, важной характеристикой является яркость поверхностей. На станциях со сводчатым потолком часто делается карнизное освещение и, чтобы придать объём, «приподнять» свод, необходимо правильно подобрать яркостной градиент.

Также в нормах оговариваются типы светильников, применяемых в метрополитене: освещение платформенных и средних залов станций предусматривается светильниками, расположенными в карнизах свода, кессонах потолка, а также открыто с применением рассеивателей, исключающих ослепление машинистов поездов. Светильники применяются, как правило, промышленного производства с пониженным уровнем шума на напряжение 220 и 380 В переменного тока. Допускается использование светильников индивидуального изготовления, отвечающих требованиям НПБ 249 и ГОСТ 15150. Необходимо располагать светильники в местах, доступных для обслуживания, не допускается их размещение над эскалаторами и ступенями лестниц, над рельсами путей и на высоте более 5м [5].

К сожалению, на многих станциях данные нормы не соблюдаются, освещённость далека от нормируемой, лампы даже в одном светильнике имеют разную цветовую температуру, что недопустимо в качественной ОУ.

1.4. Описание исследуемого объекта.

В данной работе будет проведена реконструкция освещения станции «Площадь Революции». Эта станция была открыта 13 марта 1938 года в составе участка «Александровский сад» - «Курская». Она должна была стать частью архитектурного ансамбля, который планировали возвести на месте Воскресенской площади. Предполагалось, что северный вестибюль «Площади Революции» будет выходить в огромное фойе Большого Академического кинотеатра СССР, который планировалось построить в четырёх нижних этажах гостиницы «Москва».

1.4.1. Конструкция и интерьер станции

Конструкция станции - пилонная трёхсводчатая глубокого заложения. Сооружена по типовому проекту. Диаметр центрального зала составляет 9,5 метров, боковых залов — 8,5 метров.

Проходы между узкими в основании пилонами оформлены в виде крутых полуцилиндрических арок, опирающихся на невысокие широкие постаменты. Пол станционного зала представляет собой шахматное чередование тёмного серого гранита и чёрного габбро, а платформы отделаны жежелевским гранитом. Цокольная часть станции облицована чёрным с «золотыми» прожилками мраморовидным известняком давалу и является постаментом для скульптур, а арки из тёмно-красного мраморовидного известняка шроша представляют собой рамы для них [6].

На постаментах установлены 76 бронзовых фигур, изображающих советских людей. Скульптурным оформлением станции занимался один из виднейших советских скульпторов — М. Г. Манизер. Изначально скульптур было 80, но в 1947 году в связи с открытием восточного наземного вестибюля 4 были сняты (также был демонтирован барельеф Ленина и Сталина, который

находился в тупиковом торце центрального зала). Всего на станции 20 различных образов (18 из них повторяются четырежды, а 2 — дважды).

1.4.2. Существующее освещение станции и световой аудит

Центральный зал освещается двумя рядами круглых плоских люстр – «тарелок», а платформенные залы – одним рядом. Внешний вид светильников представлен на Рисунке 9.



Рисунок 9. Внешний вид светильника, применяемого на станции «Площадь Революции»

Светильник сделан из молочного стекла, параметры которого описаны в пункте 1.1. Согласно [7] КПД такого светильника можно рассчитать как КПД замкнутого рассеивателя из диффузного материала по формуле 1.

$$\eta = \frac{\tau}{1 - \rho}, \quad (1)$$

где τ – коэффициент пропускания молочного стекла;

ρ – коэффициент поглощения молочного стекла;

Тогда $\eta = \frac{0.4}{1-0.5} = 0.8$, но так как в светильники находится 3 лампы,

учтём, что не весь поток попадает на светильник, и примем $\eta = 0.7$.

На станции с целью исследования соответствия освещённостей нормируемым значениям был проведён световой аудит. Измерения проводились люксметром АТТ-1508 фирмы Актаком, внешний вид которого представлен на Рисунке 10. Люксметр производит измерения освещенности в диапазоне от 0 до 20000 лк. Имеется 3 поддиапазона: 200лк, 2000лк и 20000лк. Измерения проводились при использовании поддиапазона 200лк, погрешность при этом составляет 5%. Значения горизонтальной освещённости E_T измерялись на полу станции, а цилиндрическая освещённость $E_{ц}$ определялась как средние вертикальные освещённости в 4 плоскостях на уровне 1.5 метра от пола.



Рисунок 10. Внешний вид люксметра АТТ – 1508

Горизонтальная освещённость измерялась в следующих точках: две по центру зала - под и между светильниками. Результаты измерений приведены в Таблице 4.

Таблица 4. Результаты измерения освещённости на станции «Площадь Революции»

	Измеренное значение Ег, Лк	Нормируемое значение Ег, Лк	Измеренное значение Ец, Лк	Нормируемое значение Ец, Лк
Платформенный зал	60	200	40	75
Центральный зал	50 (между светильниками) 75 (под светильником)	200	45	75

Как можно видеть из Таблицы 4 освещённость на станции не соответствует регламентируемым значениям, к тому же из-за наличия на станции тёмного мрамора, скульптур, имеющих низкие коэффициенты отражения, яркость поверхностей также низкая, и глаз воспринимает станцию в целом как достаточно мрачную и не торжественную, хотя архитектурный замысел предполагает другое. На Рисунке 11 представлен внешний вид станции в настоящее время.



Рисунок 11. Внешний вид станции на сегодняшний день

Таким образом, на станции «Площадь Революции» необходимо провести реконструкцию общего освещения, решив этим не только проблему «тёмного» архитектурного облика, но и подчеркнув особенности этой станции в виде наличия скульптур, а также помочь пассажирам быстрее ориентироваться.

2. Построение модели станции «Площадь Революции» и расчёт

2.1. Описание программ, используемых для расчёта

Для проведения светотехнических расчётов и последующей визуализации были использованы программы 3ds Max Design и DIALux. В основе расчётов этих программ лежит уравнение глобального освещения. В отличие от локальных методов расчётов, принимающих, что свет приходит только от конечного числа источников, глобальное освещение учитывает многократные переотражения между поверхностями моделируемой сцены, а также параметры отражающих поверхностей. В результате этого является возможным моделировать полутени, освещение многократно отражённым светом. Пример освещения, полученной при помощи локального и глобального метода расчёта освещения приведён на Рисунке 12.

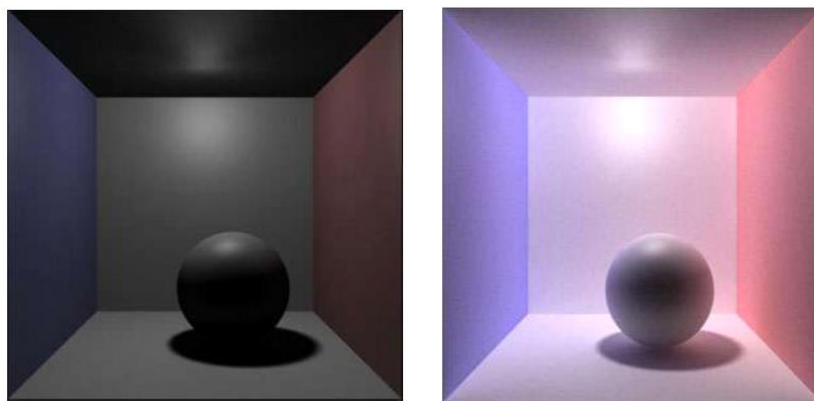


Рисунок 12. Пример визуализации локальным и глобальным методом расчёта освещения

Уравнение глобального освещения на практике не имеет решения, поэтому для решения используются численные методы. Существует два основных метода - это излучательность (radiosity) и метод трассировки лучей.

Алгоритм излучательности рассматривает частный случай решения уравнения глобальной освещённости, когда все материалы являются диффузными. Характер диффузного отражения показан на Рисунке 13.

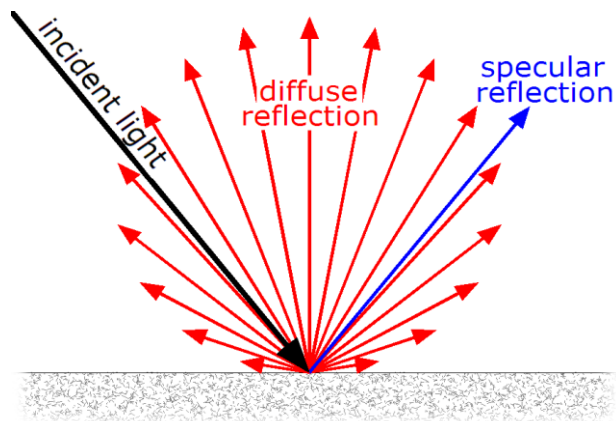


Рисунок 13. Диффузное отражение материала

При расчёте все поверхности разбиваются на элементарные единицы поверхности (Рисунок 14), причём их размер существенно влияет на время и точность расчёта: чем меньше элементы, тем точнее решение, но тем больше время решения. Затем рассчитывается светимость каждого элемента, схема для расчёта представлена на Рисунке 15.

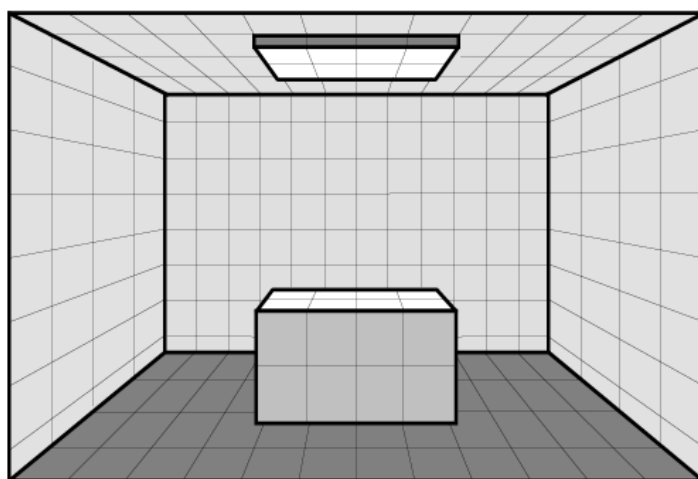


Рисунок 14. Разбиение поверхностей комнаты на элементы

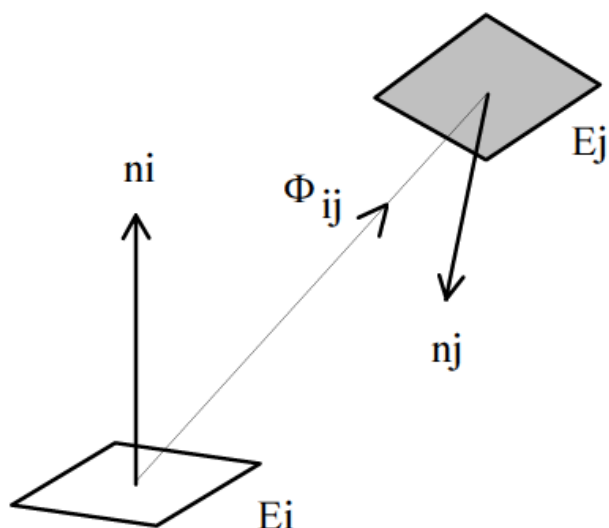


Рисунок 15. Элементы поверхности помещения

Трассировка лучей бывает прямая и обратная, в первом случае луч пускается от источника света, во втором – от камеры. Чаще всего применяется обратная трассировка, когда из камеры испускаются лучи, для каждого луча ищется первое пересечение с объектом. Далее из каждой точки пересечения испускается луч до источника света. Если луч пересечётся с каким-то другим объектом по пути к источнику, то это означает, что точка находится в тени. Трассировка лучей позволяет учесть произвольный закон отражения, но в отличие от метода излучательности можно получить изображение только под одним определённым ракурсом. Поэтому данный метод можно использовать для окончательной визуализации определённого вида, а для расчётов лучше применять метод излучательности [8].

2.2. Построение модели станции

При построении модели в программе 3ds Max Design использовались стандартные объекты, такие как Box, Sphere, Tube и другие, а также логические операции между объектами и различные модификаторы. Основой для модели станции являются объекты Box и Cylinder, детали сделаны с помощью многочисленных логических операций между объектами. Скульптуры на станции были заменены для уменьшения времени расчётов в программе на скульптуру Огюста Родена «Мыслитель», по габаритным размерам повторяющую оригинальные скульптуры на станции. Внешний вид скульптуры приведён на Рисунке 16.



Рисунок 16. Внешний вид скульптур, используемых при расчёте

Так как все объекты модели обладали сложной структурой, был применён модификатор Optimize, который позволяет уменьшить количество граней и вершин в объекте. Это упрощает геометрию и ускоряет расчёт, сохраняя приемлемое качество. Для правильного построения всех объектов модели и точности их размеров использовался измеритель расстояний Tape.

Отдельно моделировались светильники, габаритные размеры которых составляют 0.4 и 0.1м, коэффициент пропускания молочного стекла для которых составляет 0.4 согласно [1].

Все материалы, используемые в модели, обладают реальными физическими свойствами, коэффициенты отражения, согласно [9] составляют:

- Для свода станции $\rho=0.6$;
- Для пола станции $\rho=0.2$;
- Для скульптур из платинированной бронзы $\rho=0.15$;

Для пола и скульптур был выбран материал Stone (камень), а для свода станции материал Flat (краска) с соответствующими настройками физических параметров. Результаты моделирования без расчёта освещённости представлены на Рисунке 17.



Рисунок 17. Модель станции без расчёта освещённости

Также была построена модель станции в программе DIALux, так как данная программа обладает более удобным представлением результатов светотехнических расчётов, а также возможностью расчёта качественных показателей.

Для расчётов использовался коэффициент запаса K_3 согласно [9], составляющий 1.6 для пыльных помещений при учёте 2 чисток светильников в год.

2.3. Расчёт модели

Перед расчётом в программах был проведён расчёт ручным методом по Приложению 5.10.В «Метод расчёта осветительных установок пассажирских помещений станций» [5]. Данный метод предназначен для расчёта необходимого количества элементов ОУ при неизвестной кривой силы света светильника. Расчётные значения коэффициента использования учитывают многократные отражения и дифференциацию по средневзвешенным значениям коэффициента отражения помещения. Мы будем решать обратную задачу расчёта ОУ – определение потока источников при заданной нормируемой освещённости.

Расчёт ОУ был выполнен в следующей последовательности:

1. Рассчитан индекс помещения по формуле 2.

$$i = \frac{b}{2h_p}, \quad (2)$$

где i - индекс помещения;

b - ширина помещения, м;

h_p - расчётная высота, м;

Расчётная высота для светильников равномерного распределения света (доля светового потока, направляемая в нижнюю полусферу от потока светильника, 40-60%) составляет $\frac{h+h_0}{2}$, где h - высота расположения светильников над расчетной плоскостью, а h_0 - высота потолка над расчетной плоскостью.

Для центрального зала нашей станции $b=8$ м, $h_p=3.2$ м, $i = \frac{8}{2 \cdot 3.2} = 1.25$.

2. В соответствии с принятыми отделочными материалами рассчитано значение средневзвешенного коэффициента отражения поверхности помещения по формуле 3.

$$\rho_{\text{ср.вз}} = \frac{S_{\text{пот}}\rho_{\text{пот}} + S_{\text{ст}}\rho_{\text{ст}} + S_{\text{пол}}\rho_{\text{пол}}}{S_{\text{пот}} + S_{\text{ст}} + S_{\text{пол}}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{пот}}$, $S_{\text{ст}}$, $S_{\text{пол}}$ - площади потолка, стен, пола;

$\rho_{\text{пот}}$, $\rho_{\text{ст}}$, $\rho_{\text{пол}}$ - коэффициенты отражения потолка, стен, пола;

Площадь потолка и стен в нашем случае это площадь полуцилиндра:

$$S_{\text{ст}} = \pi \cdot R \cdot H = 3.14 \cdot 4.75 \cdot 70 = 1045 \text{ м}^2 \quad (4)$$

$$S_{\text{пол}} = D \cdot H = 9 \cdot 70 = 630 \text{ м}^2 \quad (5)$$

Тогда

$$\rho_{\text{ср.вз}} = \frac{1045 \cdot 0.6 + 630 \cdot 0.2}{1045 + 630} = 0.45 ;$$

3. По рассчитанным значениям индекса помещения и средневзвешенного коэффициента отражения для выбранного класса светораспределения светильника был рассчитан коэффициент использования u по формуле 6.

$$u = k \cdot i^c, \quad (6)$$

где i - индекс помещения;

k , c - коэффициенты, определяемые формализовано через средневзвешенный коэффициент отражения.

Для нашего светильника коэффициенты k и c рассчитаны по формулам 7 и 8.

$$k_{p.c} = 0,480\rho_{cp.63}^{0,493} \quad (7)$$

$$c_{p.c} = 0,286k_{p.c}^{-0,573} \quad (8)$$

Таким образом, $k_{p.c} = 0,48 \cdot 0,45^{0,493} = 0,334$, а $c_{p.c} = 0,286 \cdot 0,324^{-0,573} = 0,546$ и коэффициент использования равен $u = 0,324 \cdot 1,25^{0,545} = 0,366$.

4. Методом коэффициента использования был рассчитан необходимый световой поток элемента ОУ по формуле 9.

$$\Phi = \frac{E_{cp}SK_3}{Nu}, \quad (9)$$

где E_{cp} - средняя горизонтальная освещенность;

S - площадь освещаемой поверхности;

K_3 - коэффициент запаса;

Подставляя рассчитанные ранее параметры, получаем, что поток элемента ОУ равен:

$$\Phi_{св} = \frac{200 \cdot 455 \cdot 1,6}{36 \cdot 0,366} = 9900 \text{ лм}$$

Учитывая КПД светильника, получаем, что поток ламп должен быть:

$$\Phi_{л} = \frac{9900}{0,7} = 14142 \text{ лм}$$

Аналогичные расчёты были проведены для платформенных залов, в результате получен поток светильника $\Phi_{св} = 12700 \text{ лм}$.

Для проверки полученных значений потоков проводился расчёт в программах. Для расчёта в программе DIALux были заданы следующие параметры: потоки светильников $\Phi_{св1}=9900\text{лм}$, $\Phi_{св2}=12700\text{лм}$, $K_3=1.6$, коэффициенты отражения свода и пола, геометрия станции - диаметр центрального зала 9.5м, диаметры платформенных залов 8.5м, длина центрального зала 70м. В программе 3ds Max Design были также заданы соответствующие цветовые температуры источников.

При расчёте в программах была поставлена цель не только получить требуемые уровни горизонтальной освещённости, но и рассчитать качественные показатели, такие как показатель дискомфорта и цилиндрическая освещённость. В программе DIALux рассчитывается UGR-объединенный показатель дискомфорта, который связан с показателем дискомфорта M по формуле 10.

$$UGR = 16 \cdot \lg M - 4.8 \quad (10)$$

В [5] регламентируется показатель дискомфорта не более 20, следовательно, UGR ограничится значением $UGR = 16 \cdot \lg 20 - 4.8 = 16$, и учитывая допустимое отклонение в 20 % от нормируемого показателя дискомфорта, получаем $UGR = 16 \cdot \lg 24 - 4.8 = 18$.

Также важно оценить влияние спектрального состава на отделку станции, правильно подобрать цветовую температуру источников. Исследовались источники с цветовой температурой 3000К, 4000К и 5000К.

3. Результаты расчёта и выбор источников света

Первоначально в программе DIALux была рассчитана ОУ с использованием значений потоков, полученных при расчёте по методу коэффициента использования. Распределение освещённости на рабочей плоскости (уровень пола) представлено на Рисунке 18.

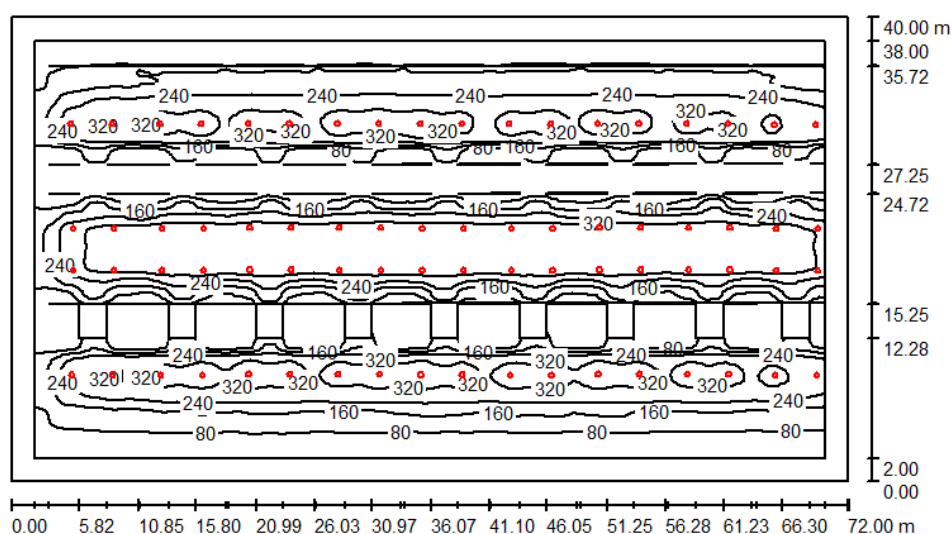


Рисунок 18. Распределение освещённости на рабочей плоскости

Освещённость не соответствует нормируемой, превышение составляет в среднем 80лк. Погрешность метода расчёта по [5] обусловлена возможно тем, что в нём не учитываются многократные отражения, а также сложная геометрия моего объекта, наличие дополнительных объектов (переходов, скульптур), также влияющих на распределение освещённости.

В результате дальнейших расчётов были получены оптимальные значения потоков светильников:

- Для центрального зала $\Phi_{св}=6500\text{лм}$;
- Для платформенных залов $\Phi_{св}=8500\text{лм}$;

С учётом КПД светильника получаем следующие потоки ламп:

- Для центрального зала $\Phi_{л}=8500\text{лм}$;

- Для платформенных залов $\Phi_{\text{св}}=11400\text{лм}$;

При расчёте в программах исходный светильник был заменён аналогичным с диффузной КСС и соответствующим потоком. Распределение освещённости на рабочей плоскости представлено на Рисунке 19.

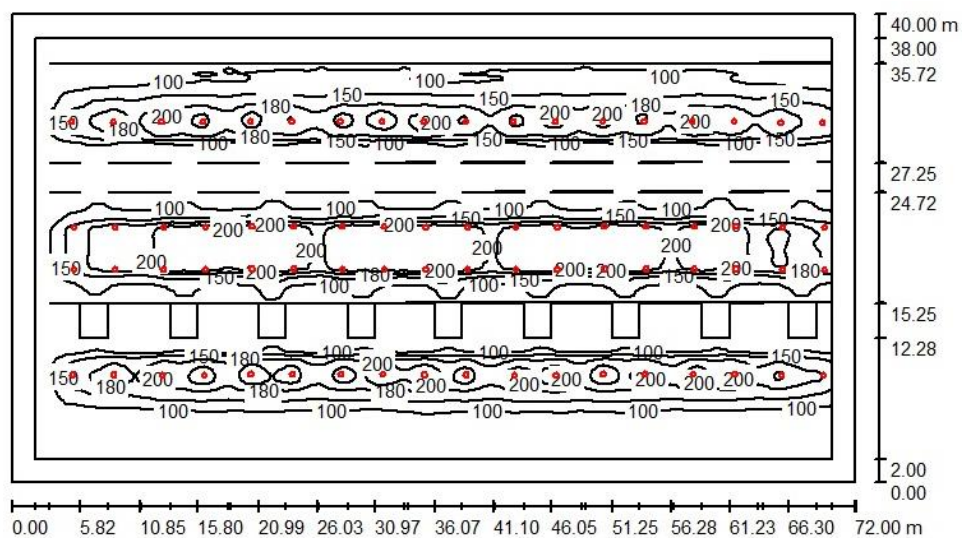


Рисунок 19. Распределение освещённости на рабочей плоскости

3.1. Реконструкция ОУ с использования КЛЛ

По данным предварительных расчётов были выбраны два вида источников, КЛЛ и СД. Рассмотрим первый вариант, осветительную установку с КЛЛ. Для нашей установки необходимы источники с большим сроком службы и световой отдачей, поэтому были выбраны неинтегрированные КЛЛ. Было проведено сравнение источников трёх ведущих фирм, Philips, Osram и GE. Для центрального зала в светильники должны быть установлены три КЛЛ мощностью 32Вт, в светильники платформенного зала - пять КЛЛ мощностью 26Вт, так как КЛЛ мощностью больше 32Вт имеют размеры, не подходящие для установки 3 ламп в используемый светильник. Результаты сравнения источников для центрального зала приведены в Таблице 5, для платформенных залов – в Таблице 6.

Таблица 5. Характеристики источников света для центрального


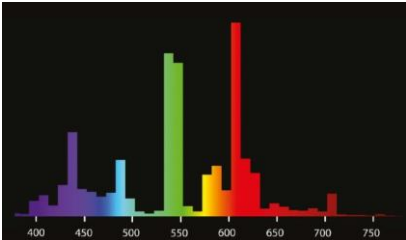
Фирма	Наименование	Мощность, Вт	Световой поток Ф, лм	Цветовая температура Тц, К	Срок службы, ч	Индекс цветопередачи Ra	Тип цоколя	Содержание ртути, мг	энергoeffективно
Philips	Master PL-T TOP 32W/840/4P	32	2400	4000	13000	82	GX24q-3	2,0	B
GE	F 32 TBX/840/A/4P/eOL	32	2400	4000	20000	82	GX24q-3	1.3	B
Osram	DULUX T/E 32W/840	32	2400	4000	20000	82	GX24q-3	2.6	B

Таблица 6. Характеристики источников света для платформенных залов

Фирма	Наименование	Мощность, Вт	Световой поток Ф, лм	Цветовая температура Тц, К	Срок службы, ч	Индекс цветопередачи Ra	Тип цоколя	Содержание ртути, мг	энергoeffективно
Philips	Master PL-T TOP 26W/840/4P	26	1800	4000	13000	82	GX24q-3	2,0	B
GE	F 26 TBX/840/A/4P/eOL	26	1800	4000	20000	82	GX24q-3	1.3	B
Osram	DULUX T/E 26W/840	26	1800	4000	20000	82	GX24q-3	1.6	B

Световой поток КЛЛ фирмы Osram к 20000 часам работы при 12 часовом цикле (11 часов лампа включена, 1 час – выключена) составляет 0.76 от первоначального, для фирмы GE - 0.53 [10], [11]. В метрополитене очень важным фактором является срок службы источников и величина спада светового потока, так как затраты на обслуживание ОУ велики. Исходя из этого, были выбраны источники фирмы Osram. Их дополнительные характеристики представлены в Таблице 7.

Таблица 7. Дополнительные характеристики КЛЛ фирмы Osram

Внешний вид	Спектр источника	Размеры	Температурный диапазон работы
		126*41мм для 26Вт 138*41мм для 32Вт	-20..+50 С

Для экономии места в светильники две лампы будут питаться ЭПРА Quicktronic QTP-M 2x26, а одна лампа – QTP-M 1x26, представленный на рисунке 20.



Рисунок 20. Внешний вид используемого ЭПРА

Особенностями данного ЭПРА являются:

- Рабочая частота 40кГц;
- Температурный диапазон работы -20..+50;
- Срок службы 70000ч;
- Класс энергоэффективности А2;

3.2. Реконструкция ОУ с использования СД

В последнее время в мире выходят на первый план две тенденции (они касаются не только освещения, но и других сфер деятельности): энергосбережение и экологичность. Ввиду этих факторов ищутся новые пути развития, внедряются абсолютно новые технологии и разработки. Для освещения таким решением становятся светодиоды. А если считать, что СД приблизились только к 20% своего развития, в то время как другие источники на сегодняшний день достигают максимальной своей эффективности, то перспективы их использования велики. Светодиоды имеют и недостатки, но их достоинства неоспоримы:

- Срок службы СД значительно превышает существующие аналоги. С течением времени такие его основные характеристики как световой поток и сила света практически не претерпевают изменений;
- Экономичность энергопотребления;
- Полная экологическая безопасность позволяет сохранять окружающую среду (не содержит ртути, ее производных и других ядовитых, вредных или опасных составляющих материалов и веществ). Отслужившую ртутную лампу необходимо отправить на утилизацию, что требует дополнительных денежных затрат;
- Высокая надежность, механическая прочность, виброустойчивость светодиодных светильников;
- Снижение эксплуатационных затрат за счет увеличения срока службы ИС;
- Возможность изменения спектра;
- Отсутствует опасность перегрузки городских и муниципальных электросетей в момент включения светодиодных светильников. Это связано с низким пусковым током приборов;
- Широкие возможности диммирования;

- Мгновенное зажигание при подаче питающего напряжения;

На станциях московского метрополитена светодиоды пока не применялись, но в мировой практике такие проекты уже разрабатываются. Компания Philips сообщила, что в партнерстве с французской светотехнической компанией Step, заключила долгосрочный контракт с транспортной компанией RATP, управляющей общественным транспортом в Париже, на освещение парижского метрополитена и сети пригородных поездов энергоэффективными светодиодными решениями. Переход на светодиодные решения затронет 85% системы освещения, что позволит снизить энергозатраты более чем на 50% и улучшить при этом качество освещения. Проект предполагает замену на светодиодные решения 250 000 источников света на 302 станциях метрополитена парижской общественной компании RATP и 66 станциях сети пригородных экспрессов RER.

Для реконструкции освещения станции «Площадь Революции» будут использованы светодиодные лампы, предназначенные для прямой замены ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп. Такая светодиодная лампа вкручивается в стандартный патрон лампы накаливания. Конструкции светодиодных ламп менялись с развитием элементной базы излучателей — светодиодов. От слабеньких, рассчитанных на токи в сотые доли ампера, пригодных для использования в осветительных приборах только в больших количествах, эти полупроводниковые элементы «выросли» до мощных светодиодов с рабочим током в единицы ампер, специально предназначенных для осветительных приборов. Светового излучения нескольких штук таких мощных источников уже достаточно для одной лампы.

Анализ патентов последних лет позволил выявить некоторые тенденции развития конструкций светодиодных ламп. Во всех устройствах конструкторы стараются минимизировать количество светодиодов. В идеальном варианте, наверное, они стремятся к одному супермощному светодиоду. Значит, для обеспечения требуемой величины светового потока в современных светильниках должны использоваться наиболее мощные из доступных

светодиодов. Однако, несмотря на увеличение мощности осветительных светодиодов, их размеры остаются неизменно малыми. В совокупности с низкой рабочей температурой светодиодов это сильно усложняет организацию их допустимого теплового режима внутри осветительного прибора. И чем больше потребляемая светодиодом мощность, тем сложнее и больше в размерах должна быть его охлаждающая система, иначе светодиод начинает перегреваться. При таком режиме работы резко снижается световая отдача и уменьшается срок службы. Ситуация усугубляется в светильнике закрытого типа, в ограниченном колбой и корпусом пространстве. Это основная задача, которую решают конструкторы при разработке светодиодной лампы. Вторая по значимости задача тоже связана с тем, что светодиоды имеют маленькие размеры. Они являются еще и сосредоточенными источниками света. Когда, по мере увеличения мощности, светодиодов в лампе становится меньше, то уменьшается и площадь свечения, что, дополнительно к выше изложенному, повышает опасность ослепления и, как следствие, ухудшает условия видимости.. При разработке осветительных устройств на мощных светодиодах возникает необходимость в дополнительных элементах для отвода теплового потока и рассеивания светового излучения.


Таким образом, накладываются следующие требования к осветительному прибору:

- Излучение. Поверхность осветительного прибора, на которой монтируется светодиод или модуль с несколькими светодиодами, не должна быть с очень низким коэффициентом излучения.
- Конвекция. Желательно иметь специальные охлаждающие элементы или достаточно большую площадь поверхности корпуса светильника для беспрепятственного контакта с потоками окружающего воздуха (специальные охлаждающие ребра, шероховатая структура и т. д.).
- Теплопроводность. Из-за очень небольшой площади поверхности и объема светодиодов охлаждения за счет излучения и конвекции не

достаточно. Поэтому одна из основных задач при конструировании светодиодных светильников — обеспечить отвод тепла за счет теплопроводности специальных охлаждающих элементов или конструкции корпуса [12].

В последнее время номенклатура светодиодных ламп быстро растёт, но в нашей работе стояла задача добиться нужного светового потока светильника, используя не более 5 ламп, так как существуют ограничения по геометрии светильника и тепловому режиму работы. Были рассмотрены светодиодные лампы фирм GE, Osram, Philips, Sylvania, и в результате выбраны источники фирмы Philips, имеющие самое высокое значение светового потока 1521лм и мощность 20Вт [13]. Параметры источников Master LEDbulb 20W приведены в Таблице 8.

Таблица 8. Параметры Master LEDbulb 20W

Наименование	Внешний вид	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, ч	Рабочий темп. диапазон окруж. среды, С	Класс энергоэффективности
Master LEDbulb D 20-100W 827		20	1521	25000	- 20..+45	A

Достоинством данных источников является более высокий срок службы, чем у выбранных КЛЛ, высокая световая отдача, широкий диапазон рабочих температур, а также возможность прямой замены ламп накаливания.

Итак, в светильниках для обеспечения нормируемой освещённости должно использоваться пять источников Master LEDbulb 20W.

3.3. Сравнение источников по экономическим показателям

Чтобы выбрать наиболее эффективное решение для реконструкции освещения, необходимо учесть экономическую сторону проекта. Будем считать, что установка работает с шести утра до часу ночи, то есть 19 часов.

В расчете были учтены:

- капитальные затраты на светотехническое оборудование;
- эксплуатационные затраты;
- ежегодное повышение тарифов на электроэнергию;

Эксплуатационные затраты включали в себя затраты на чистку светильников (2 раза в год), замену источников и ЭПРА (раз в 3 года замена КЛЛ и раз в 4 года – СД, замена ЭПРА – раз в 7 лет).

Расчёты проводились по следующим формулам:

Общая установленная мощность

$$P_{об} = P_{1св} \cdot N_{св} \cdot Q, \quad (11)$$

где $P_{1св}$ – потребляемая мощность одного светильника;

$N_{св}$ – кол-во светильников;

Q – коэффициент, учитывающий потери в аппаратуре;

Затраты на электроэнергию в год

$$S_{эн} = P_{ном} \cdot S_m, \quad (12)$$

где $P_{ном}$ – потребляемая электроэнергия в год;

S_m – тариф на электроэнергию по городу Москва с учетом повышения на 15% ежегодно;

Потребляемая электроэнергия в год

$$P_{пот} = P_{об} \cdot T \cdot 365, \quad (13)$$

где $P_{об}$ - общая установленная мощность;

T – время работы осветительной установки в сутки;

365 – кол-во суток в год;

Средние ежегодные эксплуатационные расходы

$$S_{эк} = N_{св} \cdot \beta, \quad (14)$$

где $N_{св}$ – кол-во светильников;

β – среднегодовая сумма расходов на эксплуатацию ОП, зависящая от кол-ва ламп в светильнике, от их мощности, цены и среднего срока службы;

Затраты на электроэнергию в год

$$, \quad (15)$$

где $P_{пот}$ – потребляемая электроэнергия в год;

S_m – тариф на электроэнергию по городу Москва с учетом повышения на 15% ежегодно;

Общие затраты в год

$$S_{об} = S_{эн} + S_{эк}, \quad (16)$$

где $S_{эн}$ - затраты на электроэнергию в год;

$S_{эк}$ - средние ежегодные эксплуатационные расходы;

Результаты расчётов для КЛЛ представлены в Таблице 9, для СД – в Таблице 10.

Таблица 9. Результаты расчёта по экономическим показателям для КЛ

Год	Мощность, Вт	Количество СП, шт	Количество ламп, шт	Общая установленная мощность с учётом потерь, Вт	Цена ИС+ЭПРА, руб	Общие капитальные затраты,руб	Потребляемая ЭЭ в год, кВт	Средние ежегодные затраты на эксплуатацию, руб	Цена 1 кВт, руб. (+15% ежегодно)	Затраты на ЭЭ в год, руб	Общие затраты в год, руб
2013	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	3.76	212151.1	582751.1
2014	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	4.324	243973.7	614573.7
2015	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	4.973	280592.4	651192.4
2016	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	5.718	322627.6	693227.6
2017	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	6.576	371038.7	741638.7
2018	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	7.563	426728.4	797328.4
2019	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	8.697	490712.2	861312.2
2020	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	10.002	564344.4	934944.4
2021	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	11.502	648979.2	1019579
2022	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	13.227	746309.1	1116909
2023	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	15.211	858252.7	1228853
2024	113	72	288	8136	1200	345600	56423.16	25000	17.493	987010.3	1357610

Таблица 10. Результаты расчёта по экономическим показателям для СД

Год	Мощность, Вт	Количество СП, шт	Количество ламп,шт	Общая установленная мощность с учётом потерь,Вт	Цена ИС,руб	Общие капитальные затраты,руб	Потребляемая ЭЭ в год, кВт	Средние ежегодные затраты на эксплуатацию, руб	Цена 1 кВт, руб. (+15% ежегодно)	Затраты на ЭЭ в год, руб	Общие затраты в год, руб
2013	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	3.76	187744.3	873744.3
2014	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	4.324	215906	901906
2015	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	4.973	248311.8	934311.8
2016	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	5.718	285511.2	971511.2
2017	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	6.576	328352.8	1014353
2018	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	7.563	377635.7	1063636
2019	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	8.697	434258.6	1120259
2020	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	10.002	499419.9	1185420
2021	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	11.502	574317.9	1260318
2022	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	13.227	660450.6	1346451
2023	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	15.211	759515.7	1445516
2024	100	72	360	7200	1800	648000	49932	38000	17.493	873460.5	1559460

По результатам расчётов был построен График 1, отображающий общие затраты на ОУ при использовании КЛЛ и СД:

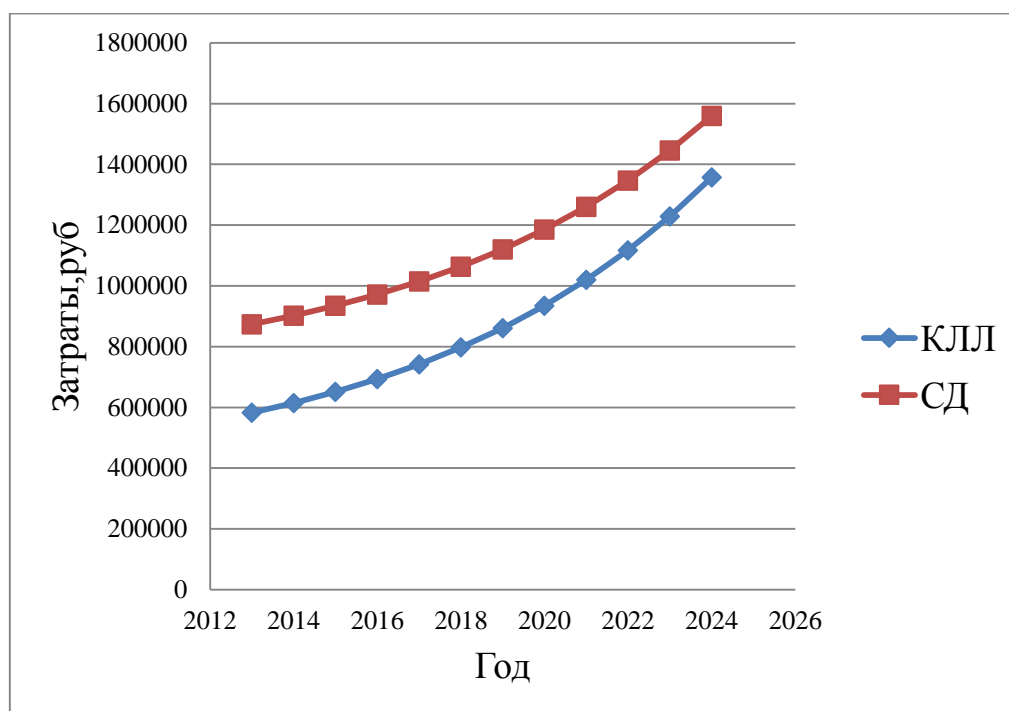


График 1. Общие затраты на ОУ

Как видно из данного графика, затраты на КЛЛ меньше, чем на СД, на протяжении 10 лет использования ОУ. Несмотря на больший срок службы светодиодных ламп, капитальные затраты намного превосходят затраты на комплект КЛЛ+ЭПРА. Также необходимо учитывать зависимость светового потока светодиодов от температуры окружающей среды. В ОУ метрополитена значение светового потока будет ниже номинального из-за перегрева установки и вибраций. Таким образом, замена существующих источников на светодиодные лампы на сегодняшний день не эффективна. Но не стоит забывать о такой возможности через какое-то время, учитывая общую тенденцию развития светодиодного рынка - снижение цены на продукцию, появление всё более эффективных источников, такая замена может быть эффективна и оправдана.

Для реконструкции будут использованы описанные выше КЛЛ фирмы OSRAM DULUX T/E 32W/840 и DULUX T/E 26W/840.

Значения световых потоков следующие:

- Для центрального зала $\Phi_{л}=7200\text{лм}$;
- Для платформенных залов $\Phi_{св}=9000\text{лм}$;

С учётом КПД светильника получаем следующие потоки ламп:

- Для центрального зала $\Phi_{св}=5040\text{лм}$;
- Для платформенных залов $\Phi_{св}=6300\text{лм}$;

Распределение освещённости с учётом этих данных представлено на Рисунке 20.

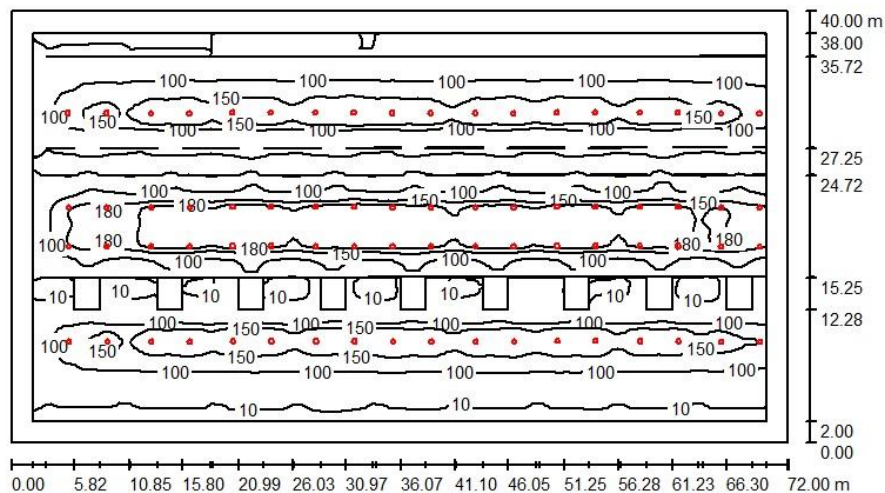
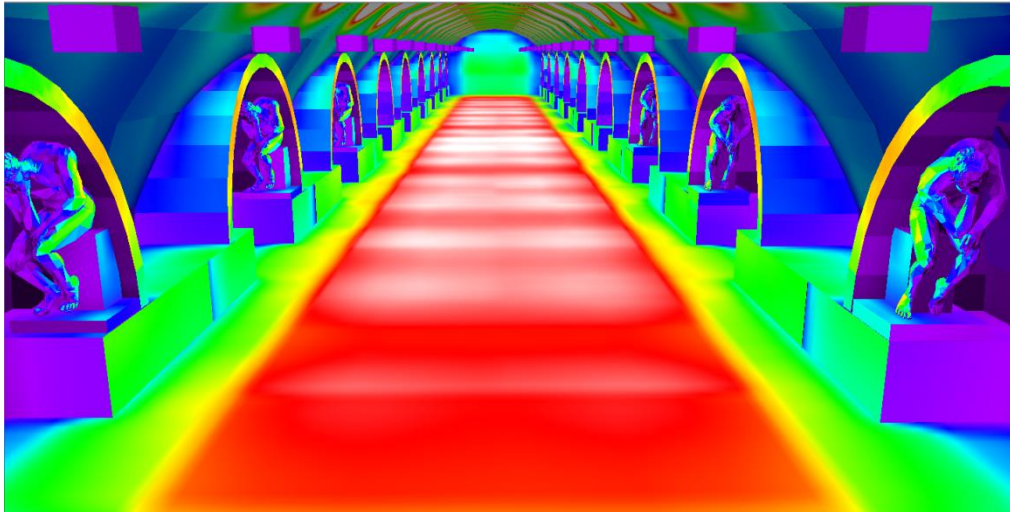


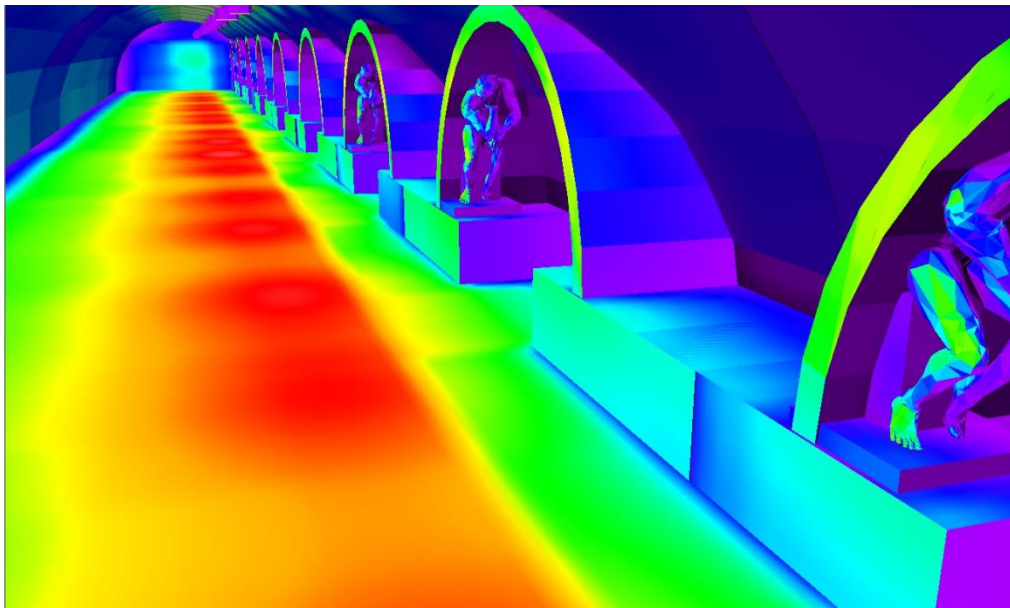
Рисунок 20. Распределение освещённости на рабочей плоскости

На Рисунке 21 и Рисунке 22 представлено распределение освещённости в фиктивных цветах на рабочей плоскости центрального и платформенных залов.



200лк	180лк	150лк	125лк	100лк	75лк	50лк	25лк

Рисунок 21. Распределение освещённости в фиктивных цветах на рабочей плоскости центрального зала



200лк	180лк	150лк	125лк	100лк	75лк	50лк	25лк

Рисунок 22. Распределение освещённости в фиктивных цветах на рабочей плоскости платформенного зала

Значения объединённого показателя дискомфорта составило $UGR=18$.

Результаты расчёта цилиндрической освещённости представлены в Таблице 11.

Таблица 11. Результаты расчёта цилиндрической освещённости

Список расчетных точек

№	Обозначение	Тип	Позиция [m]			Вращение [°]			Значение [lx]
			X	Y	Z	X	Y	Z	
1	Вертикальная расчетная точка 2	вертикальн., цилиндр.	6.000	20.000	1.500	0.0	0.0	0.0	82

Рассчитанные значения качественных значений удовлетворяют нормам.

В программе 3ds Max Design также были проведены исследования, касающиеся цветовой температуры источников света. На Рисунке 23 представлено освещение источниками с $T_{ц}=3000K$, на Рисунке 24 – источниками с $T_{ц}=4000K$ и на Рисунке 25 – источниками с $T_{ц}=5000K$.

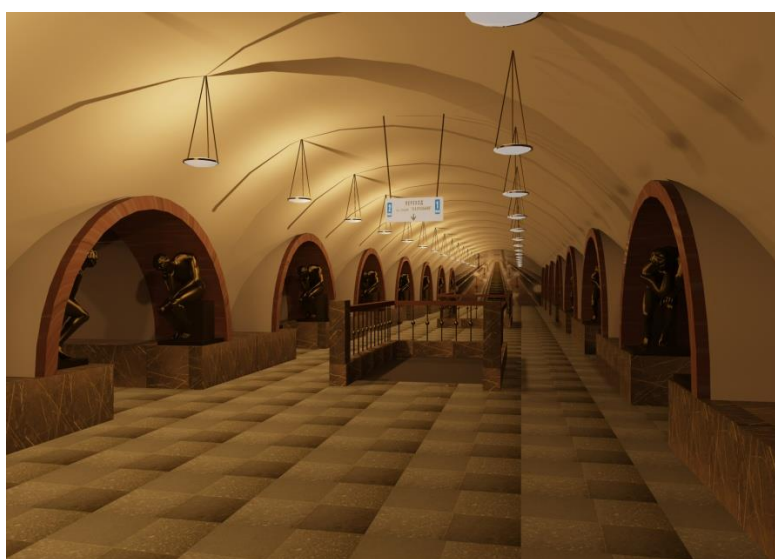


Рисунок 23. Результат освещения центрального зала источниками света с $T_{ц}=3000K$



Рисунок 24. Результат освещения центрального зала источниками света с $T_{ц}=4000K$



Рисунок 25. Результат освещения центрального зала источниками света с $T_{ц}=5000K$

Источники с $T_{ц}=5000K$ излучают «холодный» белый свет и не соответствуют облику станции, отделка которого требует более тёплого цвета. Цветовая температура 3000K создаёт сумрачное ощущение, поэтому оптимальным вариантом является источники с $T_{ц}=4000K$.

Таким образом, получены оптимальные параметры для ОУ, представленные в Таблице 12.

Таблица 12. Оптимальные параметры для ОУ

Зал	Поток светильника Фсв, лм	Поток ламп Фл, лм	Цветовая температура источников Тц,К
Центральный	5000	7100	4000
Платформенный	6300	9000	4000

Результаты расчётов сведены в Таблицу 13.

Таблица 13. Результаты расчётов с использованием КЛЛ

Зал станции	Тип ИС	Количество ИС в светильнике	Мощность ИС, Вт	Средняя освещённость, лк	UGR	Цилиндрическая освещённость, лк
Центральный	Dulux T/E 32W/840/4P	3	32	180	18	82
Платформенный	Dulux T/E 26W/840/4P	5	26	170	18	82

Все количественные и качественные показатели осветительной установки удовлетворяют нормам.

Заключение

В ходе работы были рассмотрены основные этапы развития проектирования освещения на станциях метрополитена, описаны приёмы и методы расчёта. На станции «Площадь Революция» были произведены измерения освещённости, проведены сравнения с нормируемыми показателями. Предложены два варианта модернизации освещения, с помощью КЛЛ и СД, и по результатам сравнительных экономических расчётов выбран как наиболее экономичный вариант с КЛЛ. В результате реконструкции освещения удалось добиться следующих важных моментов:

- соответствие качества освещения нормам;
- экономичная установка благодаря использованию комплекта КЛЛ+ЭПРА;

Список литературы

- [1] *Н.В. Горбачёв*. Освещение московского метрополитена // Светотехника №1. Москва, 1935
- [2] *М.И.Эпштейн*. Измерения оптического излучения в электронике. Москва, 1990
- [3] *А.Ю. Орлов*. Свет в архитектуре новых станций московского метро // Светотехника №6. Москва, 2008
- [4] Постановление Правительства Российской Федерации от 20 июля 2011 г. N 602 г. Москва "Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения"
- [5] СП 32-105-2004 «Метрополитены»
- [6] Официальный сайт московского метрополитена mosmetro.ru
- [7] *Трембач В.В.* Световые приборы. Москва, 1990
- [8] *Макаров Д. Н.* Методы компьютерного моделирования осветительных установок. Диссертационная работа. Москва, 2007
- [9] СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»
- [10] Каталог источников света фирмы «Osram», 2012
- [11] Каталог источников света фирмы «GE», 2012
- [12] *Глухов Андрей*. Конструкция светодиодной лампы для прямой замены лампы накаливания общего назначения // Полупроводниковая светотехника №2. Москва. 2011
- [13] Каталог источников света фирмы «Philips», 2012