

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
«МЭИ»**

УДК: Институт _____ ИРЭ (ЭТФ) _____
Кафедра _____ Светотехники _____
Направление _____ Электроника и наноэлектроника 11.04.04 _____

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Программа: _____ Теоретическая и прикладная светотехника _____

Тема: _____ Реконструкция освещения станции “Красносельская” _____

Студент _____ ЭР-04М-16 _____ Нечаева К.И.
группа подпись фамилия, и., о.,

Научный
руководитель _____ профессор _____ Будак В.П.
должность звание подпись фамилия, и., о.,

Консультант _____
должность звание подпись фамилия, и., о.,

Консультант _____
должность звание подпись фамилия, и., о.,

Магистерская диссертация допущена к защите

Зав.кафедрой _____ К.Т.Н. _____ Боос Г.В.
звание подпись фамилия, и., о.,

Дата _____

МОСКВА

2018 г.

Реконструкция освещения станции метро “Красносельская”

Нечаева К.И. стр. 105, рис. 66, табл. 31, прил. 1

УДК

Аннотация

Современное состояние станции первой очереди Московского метрополитена, открытой в 1935 г. не позволяет ей называться объектом культурного наследия, ввиду того, что модернизации освещения, проводимые метрополитеном с появлением более энергоэффективных источников света – люминесцентных ламп, относительно первоначальных ламп накаливания, используемых в оригинальных световых приборах, заявленных в проекте освещения архитекторов и оформителей станции, существенно изменили внешний облик станции, сделав из оригинально оформленной, с точки зрения освещения, станции с цельной хорошо читающейся архитектурной тектоникой, простую плоскую ничем не примечательную малозагруженную станцию метро.

В существующей работе был проведен исторический анализ развития световой среды станции в течение всего времени ее эксплуатации для понимания того, какой ее задумывали архитекторы, какие изменения происходили с освещением станции с течением времени и как это влияло на ее внешний облик и безопасность перевозок пассажиров. В ходе работы были разработаны несколько вариантов реконструкции освещения станции ‘Комсомольская’ с использованием исторических световых приборов, в результате чего был выбран наиболее оптимальный вариант с точки зрения энергетической эффективности, соблюдения современных отраслевых норм метро и требований, предъявляемых к объектам культурного наследия.

The summary

Current condition of “Krasnosel’skaya” metro station, which was one of the first stations of Moscow metro opened in 1935, doesn’t allow it to be called an object of cultural heritage because of lighting modernizations held by Moscow metro with an aim to [enhance the effectiveness](#) with the appearing of fluorescent lamps. As a result using new light sources has changed the interior of the station completely and transformed originally lit station according to projects of architects and designers to a plain and undistinguished low density station.

To understand how designers and architects of the station imagined its interior, what changes with lighting took place over time and how they affected station’s interior and safety of passengers and train operator a [historical analysis](#) of lighting [environment](#) development was carried out in this dissertation. Several variants of “Krasnosel’skaya” metro station’s lighting reconstructions with using historical light fixtures were developed, as a result [of which](#) the best solution from the point of energy efficiency, meeting [contemporary standards](#) of lighting and objects of cultural heritage [requirements](#) was chosen.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«МЭИ»

Институт ИРЭ (ЭТФ) Кафедра Светотехники

Направление Электроника и наноэлектроника 11.04.04

ЗАДАНИЕ НА МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ

по программе подготовки магистров Теоретическая и прикладная
светотехника

Тема Реконструкция освещения станции “Красносельская”

Время выполнения работы с 01.09.2016 по 20.06 20 18 г.

Студент Нечаева К.И. ЭР-04М-16

Фамилия, и., о.

группа

подпись

Научный руководитель профессор Будак В.П.
должность, звание, фамилия, и., о.

Консультант _____
должность, звание, фамилия, и., о.

Консультант _____
должность, звание, фамилия, и., о.

Зав. кафедрой к.т.н. Боос Г.В.
звание, фамилия, и., о., подпись, дата утверждения задания

Место выполнения научной работы НИУ «МЭИ» кафедра
светотехники

Москва «_____» _____ 20__ г.

1.Обоснование выбора темы диссертационной работы

Сегодня Московский метрополитен активно проводит реконструкции первых станций для их внесения в реестр объектов культурного наследия. Основная проблема состоит в том, что для присвоения станции статуса объекта культурного наследия ее внешний облик должен соответствовать первоначальному, что встречается нечасто, ведь зачастую ранние модернизации освещения станций с целью повышения эффективности осветительной установки привели к тому, что их внешний облик изменился до неузнаваемости. В этой работе проводится исследование возможных путей реконструкции освещения станции первой очереди Московского метро “Красносельская”, в результате которого будет найден оптимальный вариант, удовлетворяющий как современные отраслевые нормы освещения, так и требования, предъявляемые к объектам культурного наследия.

Научный руководитель _____ Будак В.П. _____ дата _____
Студент _____ Нечаева К.И. _____ дата _____

2. Консультации по разделу

Подпись консультанта _____ дата _____

3. Консультации по разделу

Подпись консультанта _____ дата _____

4. План работы над магистерской диссертацией

№ п/п	Содержание разделов	Срок выполнения	Трудоёмкость в %
-------	---------------------	-----------------	------------------

I.	Исторический анализ Анализ конструктивных особенностей станции Изучение архивных документов для проведения анализа световой среды станции и анализа технического состояния световых приборов	01.09.16-01.11.16	10%
		01.11.16-15.04.17	10%
II.	Расчетная часть Светотехнический расчет ОУ 1935г. Светотехнический расчет ОУ 2018г. Измерения освещенности на станции Расчеты нескольких вариантов реконструкции освещения Сравнительный анализ вариантов реконструкции и выбор наиболее оптимального	15.04.17-01.05.17	5%
		01.11.17-15.04.17	5%
		16.04.17	5%
		17.04.17-03.09.17	20%
		04.09.17-30.12.17	10%
III.	Воссоздание световых приборов Проработка конструктива четырех исторических световых приборов	09.01.18-14.04.18	20%
IV.	Оформление диссертации	15.04.18-20.06.18	15%

5. Рекомендуемая литература

1. В.В. Мешков, А.Б. Матвеев «Основы светотехники», часть 2 , _____

Энергоатомиздат, 1989г. _____

2. Н. В. Горбачев и Е. С. Ратнер. Освещение московского _____
метро//Светотехника. -1935. - №1. _____

3. Колли Н.Я. Архитектура московского метро. Архитектура СССР, _____
1935г. _____

6. Краткие сведения о студенте:

Домашний адрес 140000, МО, г. Люберцы, ул. Волковская, 49а, кв. 15

Телефон служебный _____ домашний 8-925-042-63-83

Примечание: задание брошюруется вместе с диссертацией и с отзывами руководителя и рецензентов.

Содержание

1. Исторический очерк.....	12
2. Конструктивные особенности станции “Красносельская” Московского метрополитена.....	21
3. Анализ развития световой среды станции.....	24
3.1. Анализ технического состояния световых приборов.....	29
3.2. Разработка модели для расчета освещенности всех станционных зон.....	35
3.3. Расчет освещенности с источниками света и световыми приборами, соответствующими первоначальному проекту.....	37
3.4. Расчет освещенности с источниками света и световыми приборами, используемыми в настоящее время.....	44
3.5. Экспериментальные исследования современного состояния световой среды станции.....	49

4. Разработка световой среды станции и средств ее обеспечения, соответствующих современным санитарным нормам и требованиям, предъявляемым к объектам культурного наследия.....	52
4.1 Анализ современного состояния станций Московского метрополитена и формулирование требований к реконструкции световой среды станции “Красносельская”	53
4.2 Анализ преимуществ использования светодиодных источников света при реконструкции освещения.....	61
4.3. Первый вариант реконструкции освещения.....	62
4.4. Второй вариант реконструкции освещения.....	67
4.5. Третий вариант реконструкции освещения.....	71
4.6. Четвертый вариант реконструкции освещения.....	77
4.7. Сравнение вариантов реконструкции освещения станции метро “Красносельская” и выбор наиболее оптимального с точки зрения выполнения требований, предъявляемых к освещению станции.....	82
4.8. Разработка аварийного освещения оптимального варианта реконструкции освещения станции.....	86
5. Воссоздание исторических световых приборов с современными источниками света, обеспечивающими требования, предъявляемые к объектам культурного наследия и комфортной световой среде.....	89
5.1. Конструктивные особенности плафона, используемого для освещения платформенного зала станции.....	91
5.2. Конструктивные особенности подвесного цилиндрического светильника, используемого для освещения платформенного зала станции.....	95
5.3. Конструктивные особенности плафона, используемого для освещения зоны перехода.....	98
5.4. Конструктивные особенности светового короба, используемого подсветки навесных конструкций потолка лестничного марша и капителей колонн.....	101
Заключение.....	103
Список использованных источников.....	105
Приложение А. Обмерные чертежи станции “Красносельская”	108

Список сокращений

ИС – источник света

КПД - коэффициент полезного действия

ОУ – осветительная установка

СМ – светодиодный модуль

Тцв – цветовая температура

CRI – colour rendering index (индекс цветопередачи)

Ra – общий индекс цветопередачи

UGR – unified glare rating (объединенный показатель дискомфорта)

Введение

Модернизация освещения станционного пространства первых станций Московского метрополитена является весьма специфической задачей. Основная проблема в данном случае состоит в том, что все станции, введенные в эксплуатацию до 1956 г., являются объектами культурного наследия, а согласно статье 47,3 пункту 1 Федерального закона от 25.06.2002 N 73-ФЗ (ред. от 29.12.2017) "Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации" [1] при содержании и использовании объекта культурного наследия, включенного в реестр, запрещается проводить работы, изменяющие облик, объемно-планировочные и конструктивные решения и структуры, интерьер выявленного объекта культурного наследия.

Однако, предыдущие модернизации освещения большинства первых станций, ставившие целью повышение энергоэффективности ОУ, значительно изменили внешний вид станции, и, к сожалению, не в лучшую сторону, в результате чего на сегодняшний момент этим станциям не может быть присвоен статус объекта культурного наследия. При этом зачастую ранние реконструкции освещения привели к тому, что действующие ОУ не отвечают современным нормам освещения [2], что совершенно недопустимо, ведь сегодня метро это пространство, по которому ежедневно перемещаются сотни тысяч людей, и обеспечение их безопасности - это первостепенная задача при реконструкции освещения.

Подобная ситуация сложилась и с одной из первых станций московского метрополитена – станцией “Красносельская”, модернизация освещения которой, привела к тому, что современное состояние станции не позволяет ей называться объектом культурного наследия. Для того чтобы вернуть станции этот статус, необходимо исследование возможных путей

реконструкции освещения для нахождения оптимального решения, удовлетворяющего как современные нормы, так и требования, предъявляемые к объектам культурного наследия. Проведение такого исследования невозможно без ответа на следующие вопросы: какой представляли себе станцию архитекторы и оформители при проектировании, какие световые приборы и источники света использовались, на какие значения освещенностей ориентировались проектировщики и, наконец, как менялась световая среда станции в течение всего времени эксплуатации станции.

1. Исторический очерк

Сегодня Московское метро – неотъемлемая часть облика столицы, незаменимое средство передвижения москвичей и даже целый подземный музей. Сложно представить, что когда-то Москва могла существовать без метро, ведь сейчас на его долю приходится 57% общегородских перевозок пассажиров.

Потребность жителей столицы в новом виде транспорта, способном обеспечить бесперебойную перевозку миллионов людей, возникла еще в начале 19 века. Однако по разным причинам строительство метро откладывалось несколько раз, но население города продолжало быстро расти, и возникали серьезные транспортные трудности. Наконец, в июне 1931 года Пленум ЦК КП(б) постановил немедленно приступить к подготовительной работе по сооружению метрополитена в Москве с тем, чтобы в 1932г. уже начать его строительство [3].

Между всеми архитектурно-проектными мастерскими Моссовета в марте 1934 года был объявлен конкурс на оформление станций. Впервые в Советском Союзе проведено грандиозное строительство, в котором вопросы освещения имели бы столь большое значение. Привлечение крупнейших архитектурных сил к оформлению станций метро, особое внимание, уделявшееся вопросам освещения и, в частности, связи его с архитектурной отделкой станции, поставили проектировщиков перед рядом ответственных задач [4].

Одной из основных архитектурных задач при оформлении станций метро являлось преодоление ощущения подавленности, глубины и массивности сводов. Характер и система освещения играли чрезвычайно большую роль в

создании впечатления легкости и насыщенности светом и воздухом в подземных помещениях метро.

Одной из основных задач, возникших при проектировании освещения станций метрополитена, была задача сообщения каждой станции путем своеобразного светового решения индивидуального, хорошо запоминающегося вида. Если в надземном транспорте зрительный образ станции создается видом окрестностей, то в метро этот фактор отсутствует. Вследствие типизации станций, связанной с применением одинаковых габаритов основных архитектурных элементов, необходимость применения на станциях своеобразных способов освещения, резко отличающихся между собой, стала еще более настоятельной [5].

Решение этих сложных задач, несомненно, требовало большого количества компетентных специалистов и значительные временные ресурсы, однако, ввиду крайне сжатых сроков выполнения проекта, творческая работа была проделана всего за двадцать пять дней и 25 марта 1934 года в белом зале Моссовета были продемонстрированы проекты первых станций московского метрополитена .

[Первая линия](#) Московского метро открылась [15 мая 1935](#) года и шла от станции «[Сокольники](#)» до станции «[Парк культуры](#)», с ответвлением на «[Смоленскую](#)». На рис. 1 представлена первая схема Московского метро [6].



Рис. 1. Первая схема Московского метрополитена.

Одной из промежуточных станций первой очереди была станция «Красносельская», о которой далее и пойдет речь (рис. 2). Лучшим проектом оформления этой станции был признан проект архитекторов мастерской №2 Наркомтяжпрома Б.С. Виленского, В.А. Ершова, В.Ф. Скаржинского и художника Я. Ромас (рис. 3). Станция в проекте называлась «Гаврикова улица» (по улице, проходящей рядом), но неблагозвучное для станции метро название было изменено на «Красносельскую», по одноименной улице рядом, а от постройки второго вестибюля на Гавриковой улице отказались из-за низкого пассажиропотока. Конструктивно станция была решена как колонная двухпролетная мелкого заложения, важно отметить, что «Красносельская» имеет наименьшие размеры из всех станций первой очереди. Низкий пассажиропоток, а также скромные размеры станции, безусловно, оказали влияние на архитектуру и освещение [7].



Рис. 2. Строительство станции метро “Красносельская”, фото 30-х годов.

Рис. 3. Художник Яков Дорофеевич Ромас, автор оформления станции “Красносельская”.



Историческое описание станции следует начать с её вестибюля, с которого и начинается цельное восприятие всей станции. У “Красносельской” имеется один наземный вестибюль закругленной формы, такая конфигурация

надземного вестибюля была задумана для того, чтобы пассажир с легкостью смог сориентироваться и найти главный вход. Четыре квадратные колонны с фасада и две колонны с боковых фасадов несут козырек, над которым раньше располагалась надпись «МЕТРО» из больших квадратных букв, охваченных неоновыми трубками (рис. 4). До наших дней дошла лишь надпись из букв поменьше на боковой части. Над входом в вестибюль располагались квадратные часы, что было заложено в проекте, но на сегодняшний момент эти часы утрачены (рис. 5).



Рис. 4. Вестибюль станции “Красносельская”, 30-е годы.

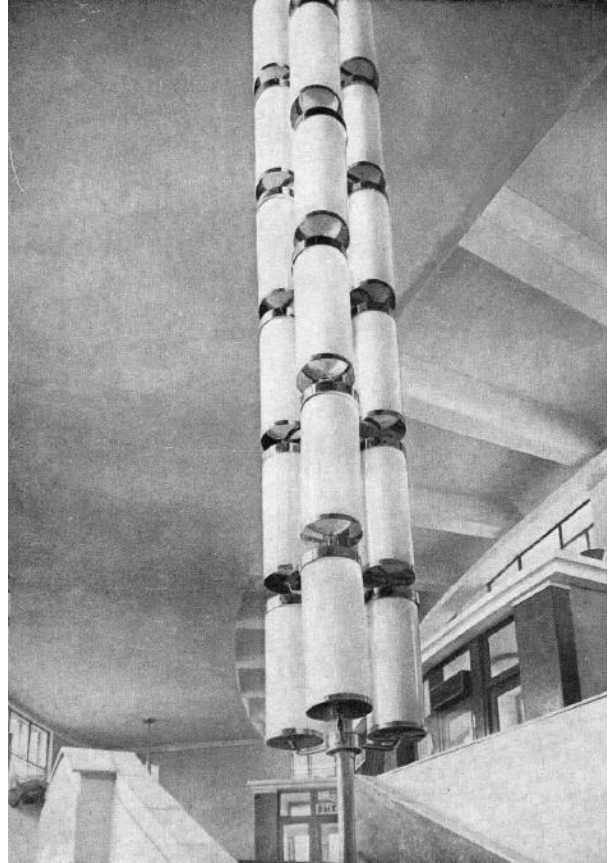


Рис. 5. Вестибюль станции “Красносельская”, современное фото.

Световое решение вестибюля подчеркивало главный вход, освещая шесть дверей главного фасада. Павильон изначально был более «стеклянным», поэтому боковые фасады освещались светом, идущим из тамбуров, ныне же все окна замурованы. Продольное окно под козырьком и три больших оконных проема на задней стенке вестибюля обеспечивали хорошее естественное освещение павильона вплоть до 1972 года.

В центре павильона между барьерами левого и правого маршей по проекту предполагались газетный киоск и два телефонных автомата. В верхней части тамбуров были скрыты прожекторы, которые подсвечивали потолок и кессоны потолка, расположенные по входной части павильона. От верхнего прилавка киоска до потолка шли две световые колонны из молочного стекла, оправленные в белый металл — для освещения запроектированного витража (рис. 6). Такие колонны, выполненные по специальному рисунку, стояли и на площадках обеих лестниц, и должны были освещать лестницу и барельефы на стенах площадок каждого марша (выполнение барельефов было отнесено ко Второй очереди, но в итоге планы реализованы не были). К сожалению, на сегодняшний момент эти оригинальные для своего времени световые колонны полностью утрачены [8].

Рис. 6. Световая колонна (утрачена),
1935г.



Торцовую стену верхней площадки вестибюля украшает мозаичное панно работы художника А. Кузнецова (рис. 7). На нем изображен юный буденовец с барабаном. Работы по его установке были начаты в мае 1979 года.



а)



б)

Рис. 7. а) Мозаичное панно “Красный барабанщик”, 1969 г., б) его автор
Андрей Николаевич Кузнецов.

По двум, а затем по одному широкому лестничному маршу, мимо торшеров (которые и заменили бывшие световые колонны), идет спуск в турникетный зал. Потолок над маршами лестницы и переходами решен мелкими кессонами с установленными в них световыми плафонами с лампами накаливания (рис. 8а). Две штукатурные полуокружности, подвешенные над лестницами, а также капители четырех колонн лестничного марша выхода в город и двух колонн недействующего выхода, подсвечивались лампами накаливания, скрытыми за молочное стекло. Это решение давало мягкий рассеянный свет над всей лестницей и переходами, и визуально приподнимало невысокий для станции метро потолок «Красносельской» (рис. 8б).



а)



б)

Рис. 8. Фотографии 1935 г. а) Зона перехода, б) лестничный марш зоны перехода.

По широкой лестнице с необычным для своего времени освещением идет спуск к станционному залу, который по сравнению с другими станциями первой очереди метро имел очень простую

архитектуру и довольно скромное, но в то же время цельное световое решение.

Подземный зал имеет один ряд колонн, установленных по продольной оси. С обеих сторон от колонн на потолке располагаются ряды круглых и квадратных кессонов, которые подчеркивались светильниками, установленными в них (рис. 9).



Рис. 9. Станционный зал. Фотография 1935 г.

Внешняя отделка станции и ее основные конструктивные элементы с течением времени менялись совсем незначительно, однако, по современным фотографиям сложно узнать станцию 30-х годов. Это связано с тем, что сегодня станция освещается совершенно иначе: современные световые приборы и в целом освещение станции меняют ее внешний облик до неузнаваемости. О том, как менялась световая среда станции “Комсомольская” будет написано ниже (см. раздел 3).

2. Конструктивные особенности станции

“Красносельская” Московского метрополитена

Станция “Красносельская” сооружена из монолитного железобетона по специальному проекту, разработанному архитекторами мастерской №2 Наркомтяжпрома. Конструктивно станция была решена как колонная двухпролетная мелкого заложения. Детальные конструктивные особенности станции, а также все основные размеры представлены в Приложении А.

Подземный зал станции имеет один ряд колонн, установленных по продольной оси (рис. 10). С обеих сторон станции расположены лестничные проходы, один из которых функционирует как выход в город, а другой ведет в служебные помещения. Десятигранные колонны станции облицованы крымским мраморизованным известняком «Биюк-Янкой» с коэффициентом отражения 0,5. На мраморной облицовке имеются небольшие трещины, сколы, каверны, следы поздних ремонтов.



Рис. 10. Станционный зал, современное фото.

Плоский потолок платформенного зала с выделенными ригелями и плоскими нишами-кессонами круглой и квадратной формы оштукатурен и окрашен белой вододисперсионной краской с коэффициентом отражения 0,75 (рис. 10). Потолок над переходным мостиком декорирован кессонами. Над лестницами в торцах станции потолок выходит к станции двумя колцевыми навесами (рис. 11).



Рис. 11. Конструктивные особенности потолка перехода, современное фото.

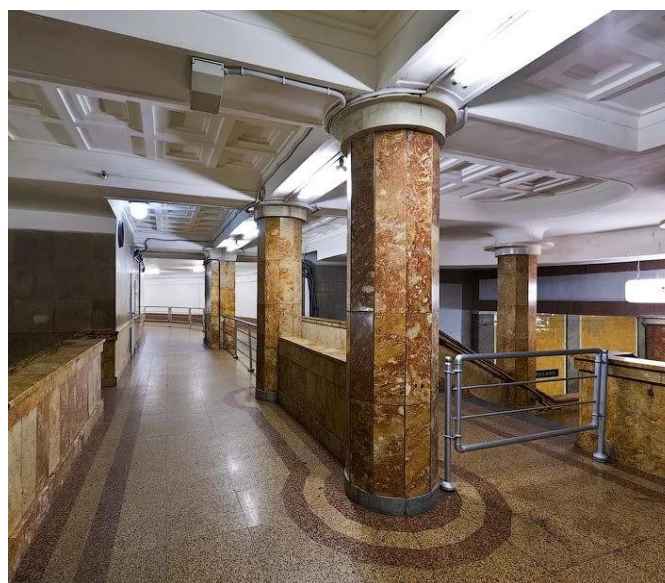
Путевые стены облицованы рыжей глазурованной плиткой с коэффициентом отражения 0,45, цоколь – плиткой коричневого цвета (0,25). На путевых стенах около лестницы, ведущей на станцию, с двух сторон видны большие пустые рамы, обрамленные известняком. В проекте было запланировано разместить там декоративное панно из майоликовой плитки. Эти планы были оставлены на Вторую очередь строительства, но не были осуществлены [9]. Монотонность стены разбавляют пилястры из серого Шамординского известняка с коэффициентом отражения 0,3, из того же материала выполнена и верхняя часть цоколя путевых стен.

Пол станции изначально был покрыт асфальтом, вокруг колонн были обозначены круги, своеобразные «базы», с помощью белого мрамора. В 1958 году асфальтовые полы платформы были заменены на метлахскую плитку.

Квадратной светлой плиткой с коэффициентом отражения 0,4 была выложена центральная часть платформы, а вдоль путей и вокруг колонн уложен контрастный рисунок темно-красной плиткой (0,2). При этом вокруг колонн рисунок вместо круглого был сделан квадратный. На межлестничных площадках и мостике перехода в качестве фоновой была использована шестигранная желтая плитка. В конце 1990-х гг. метлахская плитка была заменена на гранит, повторивший ее рисунок и колористическое решение (коэффициент отражения гранита 0,5). Сохранилась плитка только на межлестничной площадке восточной торцевой лестницы (рис. 12).



а)



б)

Рис. 12 . Пол межлестничных площадок станции “Красносельская” а) фото 70-х годов, б) современное фото.

3. Анализ развития световой среды станции

В течение всего времени эксплуатации станции “Красносельская” ее освещение менялось несколько раз и вместе с ним неизбежно менялся внешний облик станции. На рис. 13 показано как выглядела зона перехода и лестничный марш станции в 1935 г.. Архитекторы и оформители старались сделать из простой, с точки зрения архитектурного оформления, и не очень загруженной станции необычную и запоминающуюся, и им этого удалось добиться с помощью оригинальных световых решений [11].

В первую очередь пассажиру метро 1935 г. бросалась в глаза необычная подсветка лестничного марша зоны перехода, которая визуально приподнимала потолок, при этом пассажиру казалось, что кольцеобразная конструкция на потолке как будто парит в воздухе (рис. 13б). Таким же образом были выделены капители колонн зоны перехода. Инженерам удалось получить этот эффект за счет использования ламп накаливания, установленных за пластины из молочного стекла, в результате чего яркий свет от ламп рассеивался и в верхней части колонны и у внешнего края кольцеобразной конструкции можно было увидеть равномерную узкую светящуюся полосу.

Для освещения зоны перехода использовались плафоны из молочного стекла, которые устанавливались в кессоны потолка, и тем самым выделяли сложно оформленный потолок зоны перехода. В связи с особенностями работы ламп накаливания, эти светильники часто перегорали, тем самым нарушая целостность восприятия потолка (рис. 13а).



а)



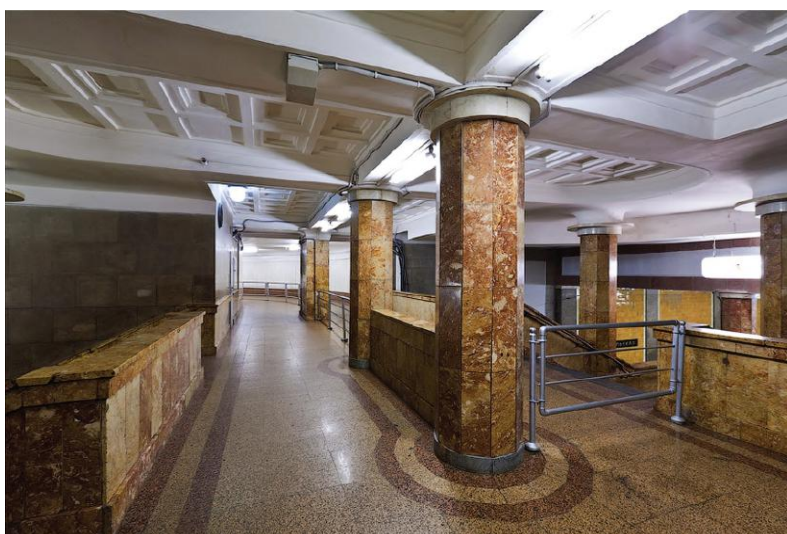
б)

Рис. 13. а) Освещение зоны перехода, б) оригинальное освещение лестничной площадки, А.Н. Зиновьев, 1935 г.

После замены в 70-х годах ламп накаливания на люминесцентные лампы внешний облик лестничного марша и зоны перехода изменился до неузнаваемости (рис. 14). Все первые световые приборы были демонтированы и станция стала освещаться “голыми” люминесцентными лампами. “Красносельская” потеряла свое по тем временам оригинальное освещение лестничного марша зоны перехода. Действующая ОУ привела к ситуации, в которой перестали читаться как сложный кессонный потолок зоны перехода, так и кольцообразная конструкция над лестницей.



а)



б)

в)



г)

д)

Рис. 14. Современное освещение лестничного марша и перехода: а) освещение лестничного марша, вид со станции; б) освещение лестничного марша, вид с первого лестничного пролета; в) освещение перехода, вид с левой его части; г) освещение перехода, вид с правой его части; д) освещение потолка зоны перехода.

По сравнению с другими станциями первой очереди метро станционный зал станции «Красносельская» имел

очень простую архитектуру и довольно скромное, но в то же время цельное световое решение.

Подземный зал имеет один ряд колонн, установленных по продольной оси. С обеих сторон от колонн на потолке располагаются ряды кессонов. Первоначально в центре каждого кессона были установлены плафоны с лампами накаливания (рис. 15а), но в начале 1950-х годов оригинальные светильники заменили люстрами-шарами (рис. 15б), а затем, в 1970-х годах в целях экономии электроэнергии, их убрали и закрепили люминесцентные лампы в ряд между колоннами (рис. 15в). ОУ 70-х годов продолжает эксплуатироваться и сегодня (рис. 15г).



а)



б)



в)



г)

Рис 15. Внешний облик платформенного зала станции “Красносельская”.
а)1935г., б)1950г., в)1970г., г)2018г.

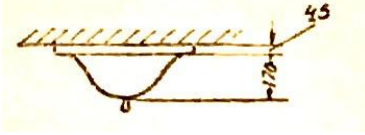
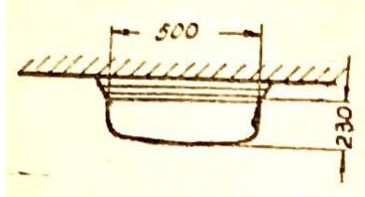
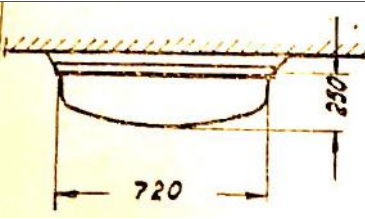
Как видно из рисунка 15г, современная осветительная установка создает равномерную освещенность на поверхности пола, прекрасно справляется с задачей обеспечения безопасности для пассажиров на станции, но совсем не соответствует замыслам архитекторов, никак не выделяет архитектурные элементы потолка станции, иными словами полностью меняет облик станции, делая её более простой и плоской, чего так пытались избежать инженеры, работающие над первым проектом оформления станции.

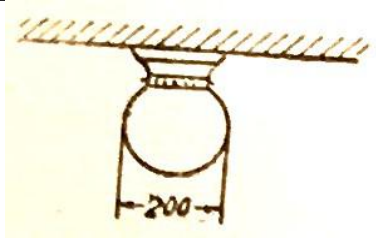
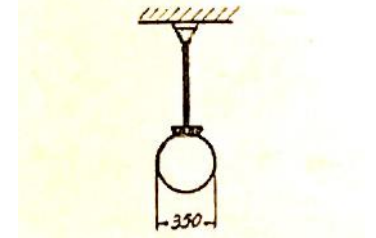
Резюмируя все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что в целом общая архитектура и колористическое решение станции «Красносельская» дошли до наших дней с минимальными изменениями, тем не менее, визуальное восприятие станции изменилось до неузнаваемости. Очевидно, что такая трансформация облика станции в первую очередь связана с новой системой освещения, совсем не учитывающей архитектурные особенности станции.

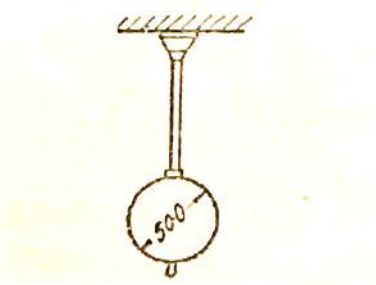
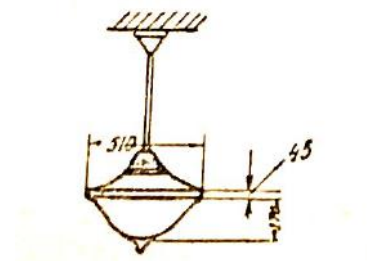
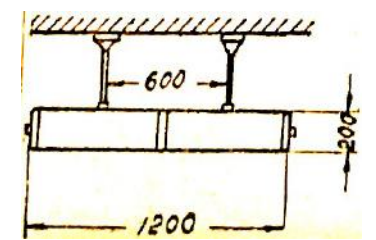
3.1. Анализ технического состояния световых приборов

Для того чтобы представить как была освещена станция в первые годы своего существования нужно иметь представление о светильниках и источниках света, применяемых в то время. В архивном журнале “Светотехника” за 1935г. [11] были описаны все типовые светильники, используемые для освещения станций первой очереди. Данные по этим светильникам представлены в таблице 1.

Таблица 1. Типовые светильники станций первой очереди.

№	Наименование светильника	Эскиз светильника	Кол-во и мощность ламп (Вт)	КПД, %	Средняя яркость Вср, сб	Сила света светильника $I_{\alpha=0}$
№	1	2	3	4	5	6
1	Плафон D=486 мм		1x150	49	0,146	263
2	Плафон D=500 мм		3x100 3x150	57	0,167 0,284	328 557
3	Плафон D=720 мм		6x100 6x150	55	0,16 0,28	652 1140

4	Шар плафон D=200 мм		1x40	77	0,074	23
			1x60		0,125	39
5	Шар подвесной D=350 мм		1x200	77	0,193	182
			1x300		0,309	290

№	1	2	3	4	5	6
6	Шар подвесной D=500 мм		1x300 1x500	77	0,151 0,272	290 525
7	Составной светильник		1x200	69	0,134	260
8	Цилиндр подвесной		6x60	67	0,11	280

При выборе форм и размеров светильников и определении их максимальной мощности производился ориентировочный светотехнический расчет с целью определения основных световых характеристик: коэффициент полезного действия, яркость, ее величина и распределение, распределение сил света. Особое внимание уделялось устранению слепящего действия от светильников в поле зрения пассажиров. Для этой цели в качестве рассеивателя в световых приборах станций первой очереди использовалось специальное молочное стекло. Научные бригады усердно трудились, чтобы максимально увеличить коэффициент пропускания молочного стекла, и тем самым повысить КПД светильника. В результате долгой работы ученым удалось получить качественное молочное стекло с коэффициентом пропускания до 50%.

При этом, мощность световых приборов устанавливалась таким образом, чтобы средняя яркость молочного стекла не превосходила 0,3 сб принятой практикой за границей. Выбранная таким образом мощность позволяла судить также о нормальном температурном режиме светильника [11].

Из фотографий 1935 г. видно, что для освещения подземного зала станции “Красносельская” использовались плоские плафоны, установленные в круглые кессоны (№3), в которые были встроены шесть стоваттных ламп накаливания, и подвесные цилиндры, установленные в квадратные кессоны (№8) с шестью лампами накаливания мощностью 60 Вт. К сожалению, на сегодняшний момент все эти световые приборы утрачены.

В 50-е годы было принято решение заменить все кессонные светильники подвесными шарами (№6), а после ремонта, произведенного в 1960-е гг., шарообразные люстры заменили люминесцентными лампами.

Сегодня для освещения платформенного зала станции используются светильники с люминесцентными лампами длиной 1500 мм, мощностью 58

Вт и световым потоком 5200 лм, установленные между колоннами вдоль центральной оси станции как показано на рис. 16. Основные характеристики люминесцентных ламп, освещающих сегодня станцию “Красносельская” представлены в табл. 2 [12].

Все первые световые приборы, используемые для освещения платформенного зала станции метро “Красносельская” в 30-х годах утрачены.

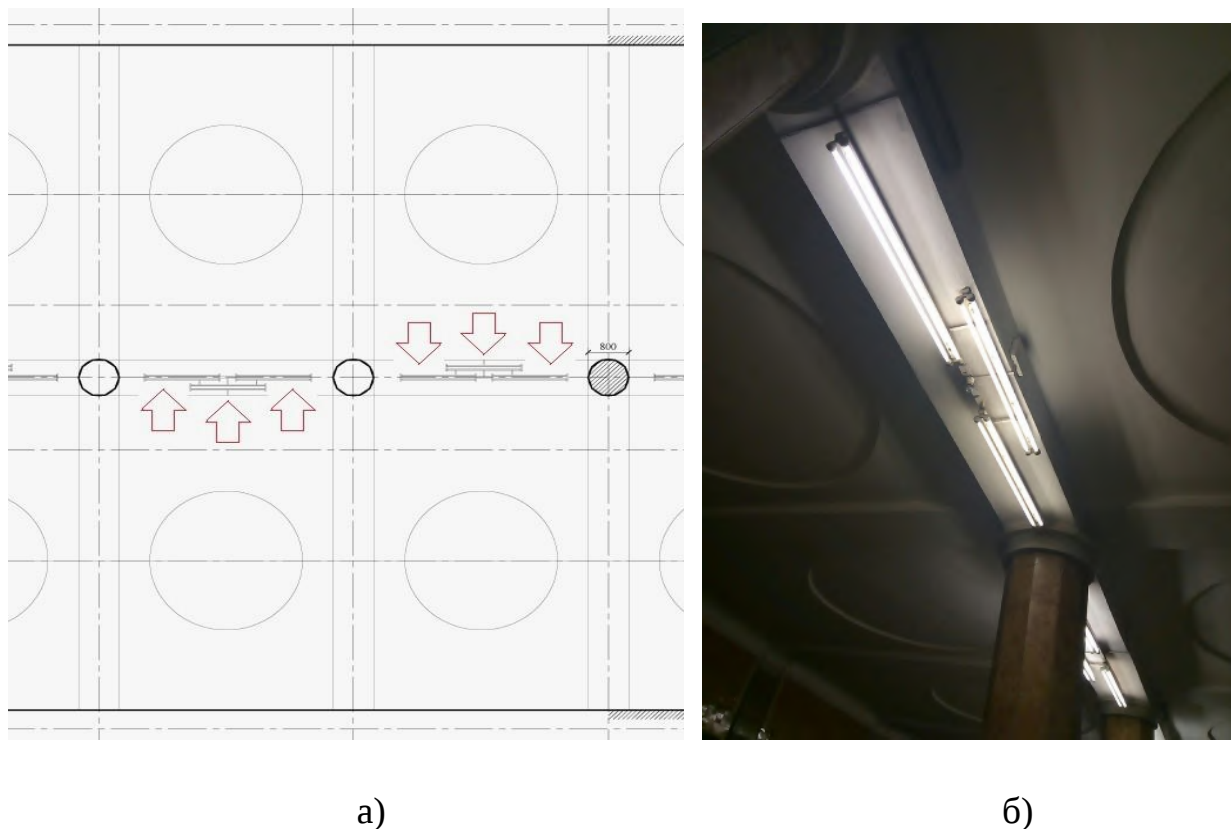


Рис. 16. Расположение световых приборов в платформенном зале: а) схематичное изображение светильников с ЛЛ, б) современное фото.

Таблица 2

Бренд	OSRAM (Германия)
Серия	LUMILUX® T8
Тип лампы	Люминесцентная
Цоколь	G13
Мощность, Вт	58
Цветность	Нейтральный белый

Цветовая температура, К	4000
Индекс цветопередачи, Ra	80-89
Световой поток, лм	5200
Средний срок службы, ч	10000
Вид колбы	Линейная/Трубка
Типоразмер	T8
Длина, мм (l)	1500
Диаметр, мм (d)	26

Для освещения зоны перехода в 1935г. использовались плафоны диаметром 380 мм, установленные в кессоны потолка (рис. 17). Чертежи светильника, его КПД и информация о количестве и мощности ламп накаливания, установленных в него, можно найти в табл. 3. На сегодняшний момент сохранились несколько первых плафонов, которые сегодня используются в качестве аварийных светильников. Рабочее освещение осуществляется светильниками с двумя люминесцентными лампами (табл. 2), установленными аналогично платформенному залу между колонн (рис. 18).



а)



б)

Рис. 17. Осветительный прибор 1935 г., используемый сегодня в качестве аварийного светильника: а) расположение ОП, современное фото, б) приближенное фото.

Таблица 3

Наименование светильника	Эскиз светильника	Кол-во и мощность ЛН (Вт)	КПД, %
Светильник для освещения зоны перехода		1x150	65



Рис. 18. Расположение светильников с ЛЛ в зоне перехода, современное фото.

Подсветка колонн и навесных кольцеобразных конструкций, как было упомянуто раньше, осуществлялась за счет установки ламп накаливания за пластины молочного стекла. На сегодняшний момент неизвестно, сколько ламп и какой мощности использовались в 1935 г. для осуществления замыслов оформителей. Почти все элементы светового короба на сегодня утрачены, только несколько фрагментов сохранились в восточной части станции (рис. 19б).

Действующая ОУ никак не выделяет основные архитектурные доминанты станции, колонны и навес никак не подсвечены и в результате теряются в общем пространстве станции (рис. 19а и 19б).



а)



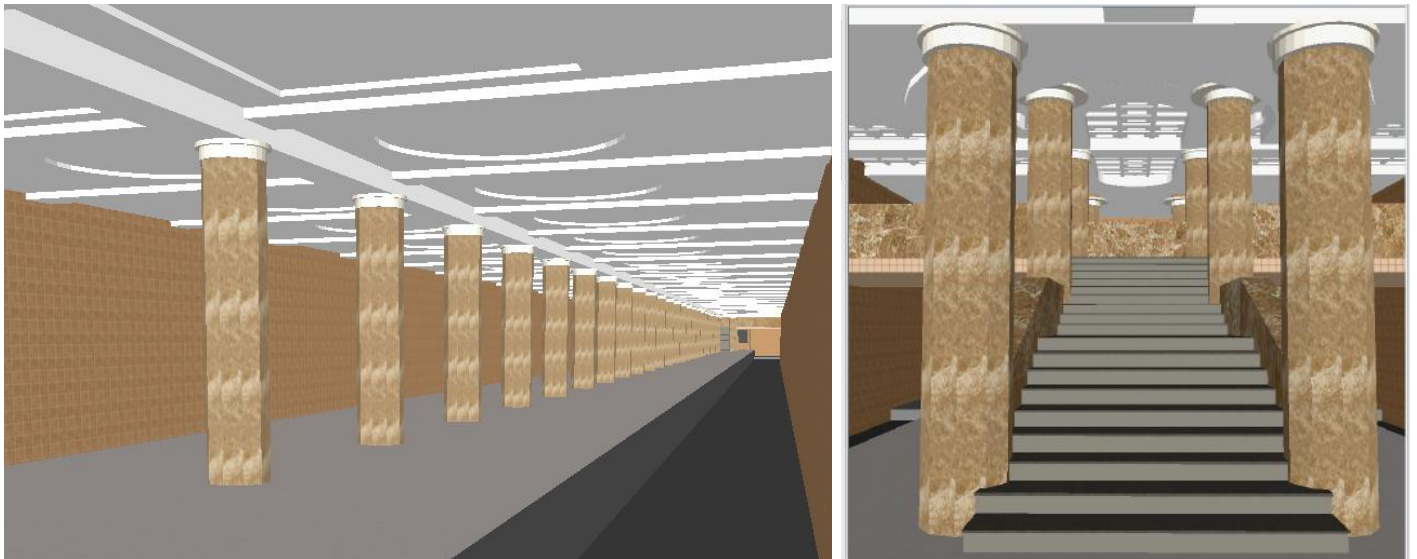
б)

Рис. 19. Сохранившиеся фрагменты светового короба: а) пластины молочного стекла, б) способ установки ламп накаливания.

3.2 Разработка модели для расчета освещенности всех станционных зон

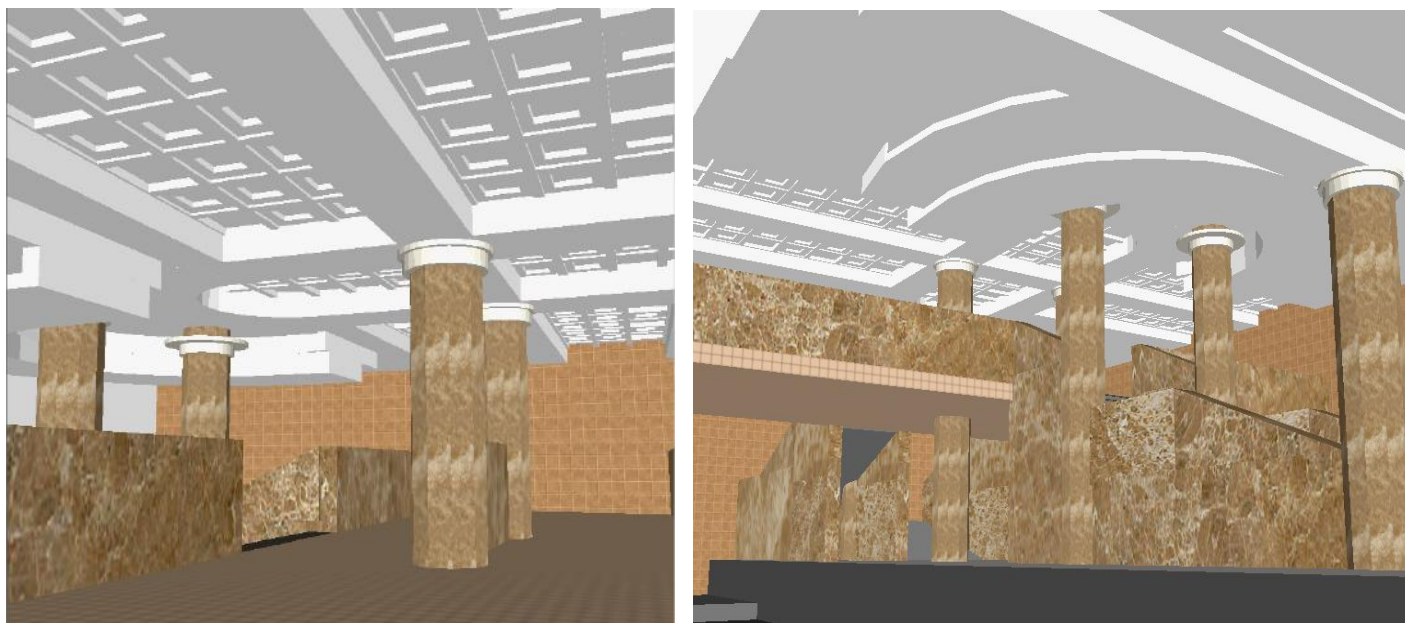
Для оценки качества разных вариантов освещения в работе будет необходимо проведение светотехнических расчетов. Для этих целей существует несколько компьютерных программ, позволяющих оценить количественные и качественные характеристики осветительной установки. В этой работе в качестве ПО для проведения расчетов был выбран программный пакет DIALux 4.13 [13].

Для дальнейших светотехнических расчетов по проектной документации и фотографиям была смоделирована станция “Красносельская” и все ее зоны, в частности платформенная зона и зона перехода (рис. 20).



б)

а)



в)

г)

Рис. 20. 3D модель станции “Красносельская”: а) платформенный зал, б) лестничный марш зоны перехода, в) зона перехода, г) потолок зоны перехода, вид с путей.

3.3. Расчет освещенности с источниками света и световыми приборами, соответствующими первоначальному проекту

Для проведения светотехнического расчета необходимо понимать, на какие значения освещенностей ориентировались проектировщики при строительстве станций первой очереди. В статье “Освещение московского метрополитена” журнала Светотехника за 1935 г. были описаны основные подходы того времени к освещению метро [11].

Инженеры ВЭИ, работающие в 1932 г. над освещением метро основывали нормативные значения освещенности на заграничном опыте и проведенных экспериментальных исследованиях, в результате чего были приняты следующие

значения освещенности: 1) горизонтальная освещенность на поверхности пола платформенного зала – не менее 50 лк, 2) горизонтальная освещенность на поверхности пола зоны перехода – не менее 60 лк, 3) горизонтальная освещенность на поверхности пола подземного вестибюля – не менее 75 лк, 4) горизонтальная освещенность на поверхности пола надземного вестибюля – 100-125 лк [11].

По фотографиям и проектам того времени довольно сложно количественно оценить насыщенность станции светом. Поэтому, для того чтобы определить количественные и качественные характеристики освещения, в программе DIALux 4.13 по фотографиям и чертежам были расставлены светильники в модели станции, и проведен светотехнический расчет всех зон станции “Красносельская”. Для расчета использовалась КСС лампы накаливания [14]. Количество, мощность и световые потоки используемых ламп накаливания описаны в табл. 4. В табл. 5 представлены нормативные значения освещенности каждой из зон станции и результаты светотехнического расчета [15].

Таблица 4

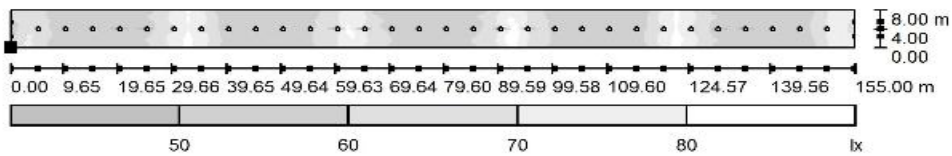
№	Источник света	Мощность лампы	Световой поток лампы	Количество ламп	Общая мощность
1	ЛН	60 Вт	700 лм	≈408 шт.	24,48 кВт
2	ЛН	100 Вт	1200 лм	300 шт.	30 кВт
3	ЛН	150 Вт	1800 лм	30 шт.	4,5 кВт
				Итого:	58,98 кВт

Таблица 5

Зона	Платформенные залы	Переходы между станциями	Гребенки эскалаторов и лестничные марши
Плоскость нормирования	поверхность пола	поверхность	уровень

		пола	ступени
Нормируемое значение минимальной горизонтальной освещенности, лк	50	60	-
Расчетное значение минимальной горизонтальной освещенности, лк	50	60	25

Расчет показал (рис. 21 и 22), что значения горизонтальной освещенности на поверхности пола в платформенном зале и зоне перехода отвечают действующим на тот период нормативам [11], приведенным в табл. 5. Хуже ситуация обстояла с освещением лестничного марша зоны перехода. На некоторых ступенях освещенности достигали 25 лк (рис. 22.в). На рис. 23 представлены визуализации светотехнического расчета, которые вполне соответствуют фотографиям 1935г. (рис. 13б и 15а).



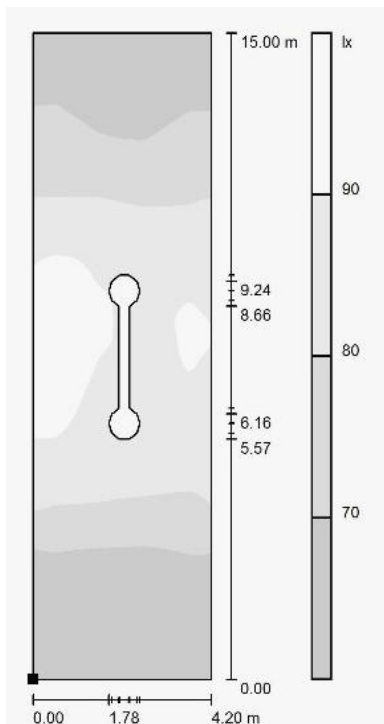
Расположение поверхности в помещении:
Выделенная точка: (10.000 m, 3.225 m, 1.271 m)



Растр: 128 x 128 Точки

E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}	E_{min} / E_{max}
61	50	87	0.811	0.572

а)



Расположение поверхности в помещении:
Выделенная точка: (172.850 m, -0.253 m, 4.402 m)

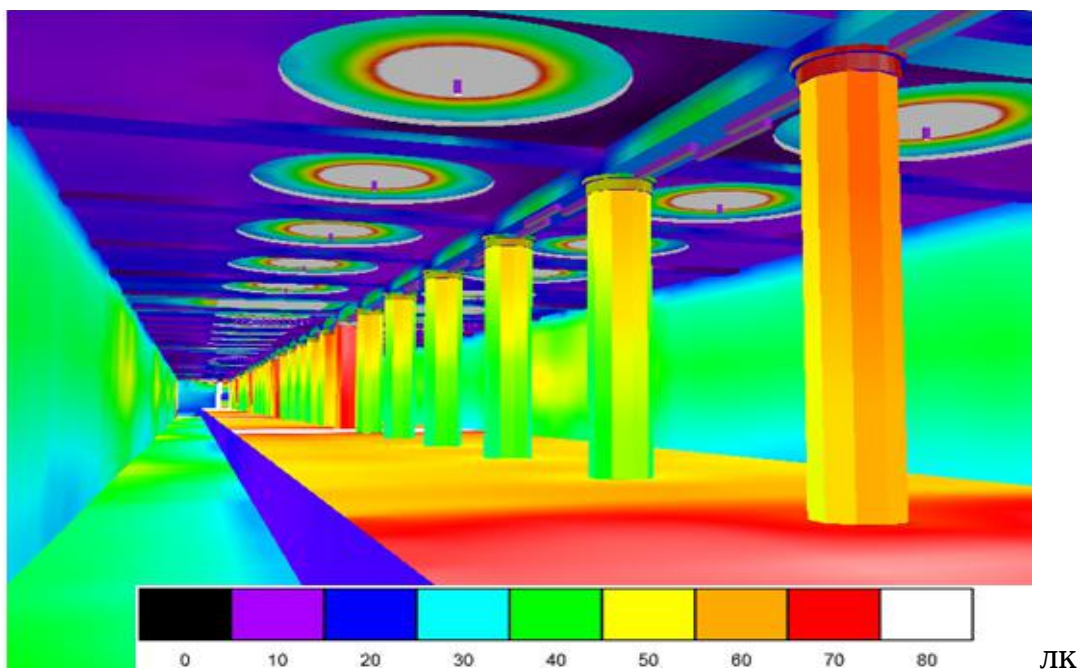


Растр: 32 x 64 Точки

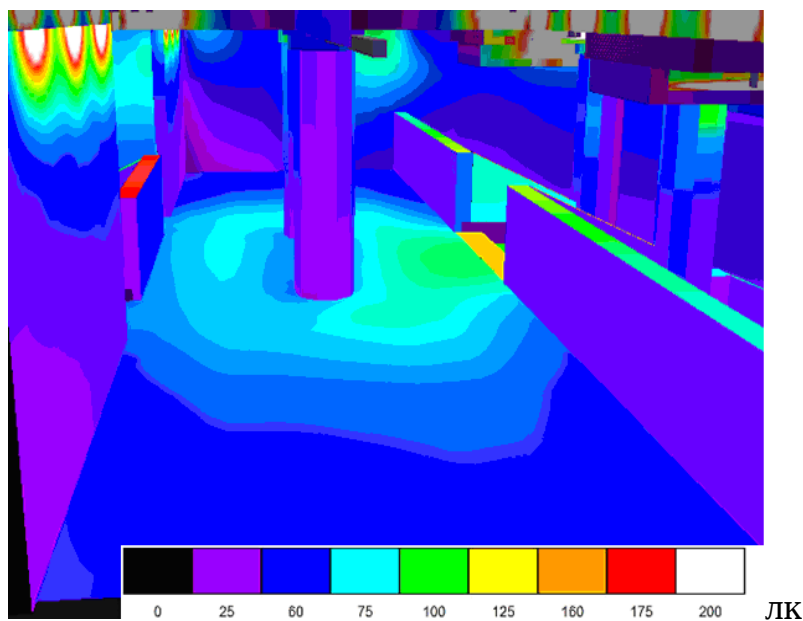
E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}	E_{min} / E_{max}
77	60	101	0.775	0.593

б)

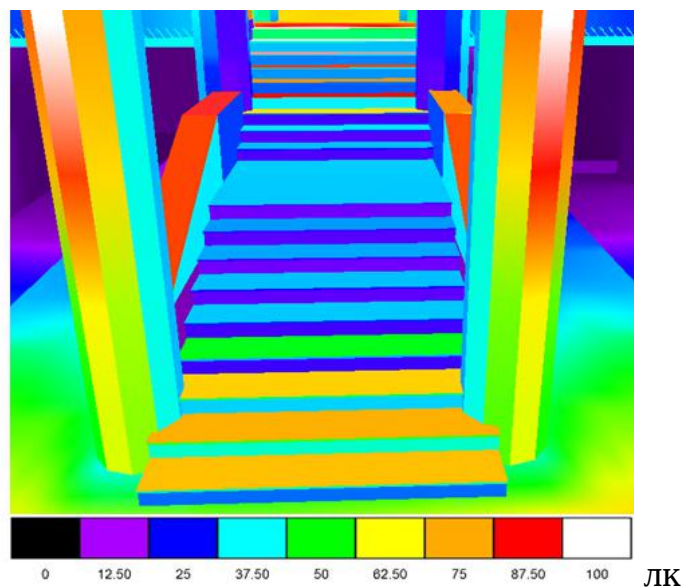
Рис. 21. Результаты расчета освещенности для ОУ 1935 г.: а) платформенный зал станции, б) зона перехода.



а)



б)



в)

Рис 22. Результаты светотехнического расчета для ОУ 1935 г. в псевдоцветах: а) платформенный зал, б) зона перехода, в) лестничный марш зоны перехода.



а)



б)

Рис 23. Визуализации светотехнического расчета для ОУ 1935 г.: а) платформенный зал, б) зона перехода.

Помимо представленных в табл. 5 значений был определен объединенный показатель дискомфорта UGR в четырех ключевых точках с максимально дискомфортными условиями зрения (табл. 6). Полученные расчетные значения в этой таблице сравниваются с современными требованиями к показателю дискомфорта [15], так как отраслевые нормы

метро 30-х годов этот качественный показатель освещения не регламентировали. Из расчета следует, что используемые в 1935 г. световые приборы доставляли некоторый зрительный дискомфорт пассажирам и машинисту.

Таблица 6

Положение в пространстве	Нормируемое значение UGR	Значение UGR
		ОУ 1935 г.
Поле зрения пассажира стоящего на полу платформенного зала	20 (допускается превышение на 20 %, т. е. не более 24)	26
Поле зрения пассажира стоящего на лестнице платформенного зала		26
Поле зрения пассажира стоящего в зоне перехода		22
Поле зрения машиниста, въезжающего на станцию		26

Кроме того, расчет позволил определить значение цилиндрической освещенности на станции. Для этого были выбраны 2 точки на высоте 1,5 метра от уровня пола в платформенном зале и зоне перехода. Результаты расчета показали, что Ец в платформенном зале составляет 35 лк, а в зоне перехода 60 лк, что говорит о том, что, ввиду возможностей источников света, используемых в 1935г., платформенный зал станции был довольно темным, что также подтверждают фотографии 30-х годов (рис. 24).

Следует также отметить, что суммарная потребляемая мощность ОУ 1935г. составляет почти 59 кВт.



Рис 24. Платформенный зал станции “Красносельская”, 1935г.

3.4. Расчет освещенности с источниками света и световыми приборами, используемыми в настоящее время

Действующая ОУ станции “Красносельская” в корне отличается от первоначальной. Как уже говорилось прежде, станция освещается с помощью светильников с двумя люминесцентными лампами длиной 1500 мм. Расположенные в ряд между колоннами светильники (рис. 15г) создают по ощущениям равномерное освещение платформы, достаточное для безопасного нахождения пассажиров в станционном зале. Такие же светильники, установленные на потолке и стенах зоны переходов, освещают проходную часть станции. Всего на станции установлены 103 светильника с 206 люминесцентными лампами (табл. 7). Основные технические характеристики ламп, освещающих сегодня станцию “Красносельская” представлены в табл. 2.

Таблица 7

Источник света	Мощность	Световой поток	Количество	Общая мощность ОУ
ЛЛ	58 Вт	5000 лм	206 шт.	11,948 кВт

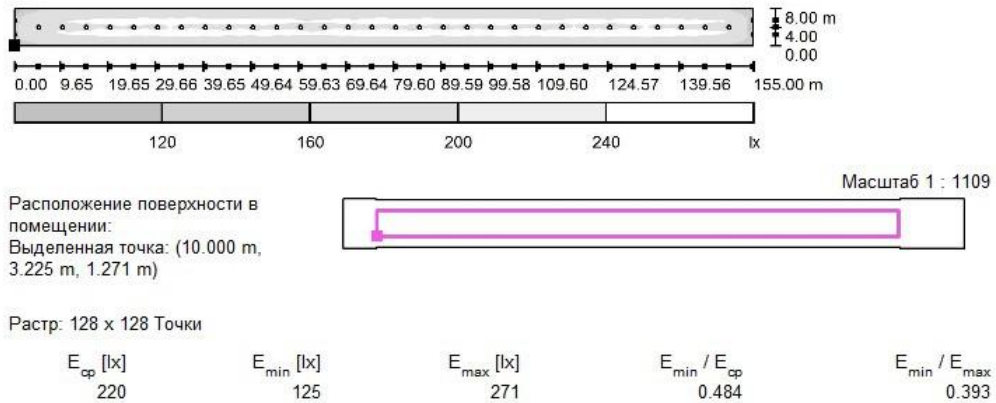
Для того чтобы проверить отвечает ли действующая ОУ современным требованиям к освещению станций метро [15], был проведен светотехнический расчет, результаты которого представлены в табл. 8.

Таблица 8

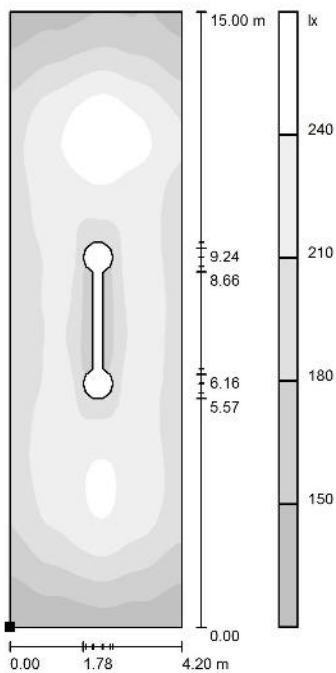
Зона	Платформенные залы	Переходы между станциями	Гребенки эскалаторов и лестничные марши
Плоскость нормирования	поверхность пола	поверхность пола	уровень ступени
Нормируемое минимальное значение горизонтальной освещенности, лк (допускается превышение на 20% и занижение на 10%)	200	100	100
Расчетное минимальное значение горизонтальной освещенности, лк	125	62	45

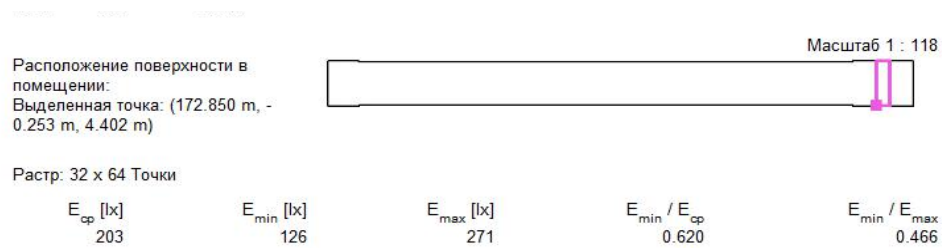
Результаты расчета показывают, что нормы освещенности выполняются только в центре платформенного зала непосредственно под светильниками, а по мере удаления от центра освещенность падает вплоть до 120 лк (рис. 25а и 26а), что не соответствует действующим отраслевым нормам освещения метро [15]. Расчет освещенности в зоне перехода показал, что в этой части станции нормы освещенности соблюдены (рис. 25б и 26б). Освещенность на

ступенях лестничного марша зоны перехода неравномерна и минимальна на поверхности центральных ступеней лестницы и доходит до 45 лк, что более чем в 2 раза ниже нормируемого значения (рис. 26б). Полученные в ходе расчета визуализации платформенного зала и зоны перехода (рис. 27) соответствуют современным фотографиям станции (рис. 14а и 15г).



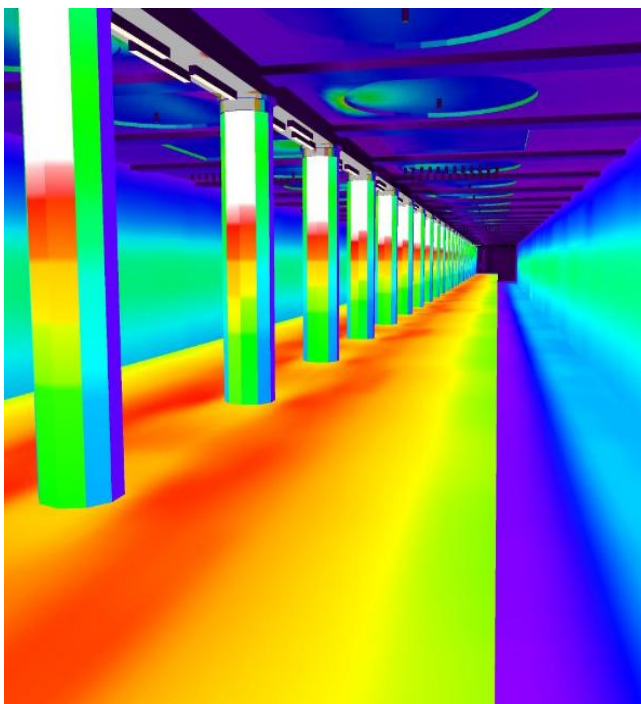
a)



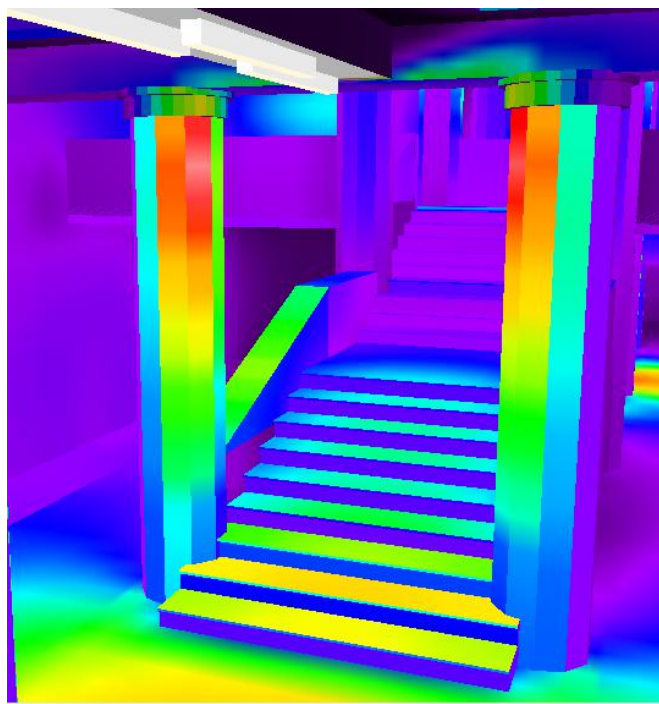


б)

Рис. 25. Результаты расчета освещенности для действующей ОУ: а) платформенный зал станции, б) зона перехода.



а)



б)

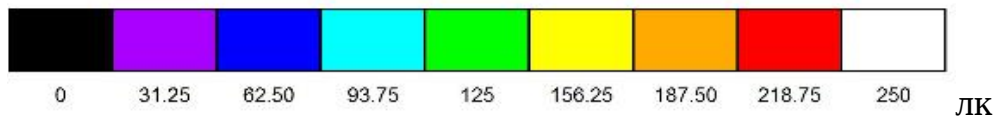
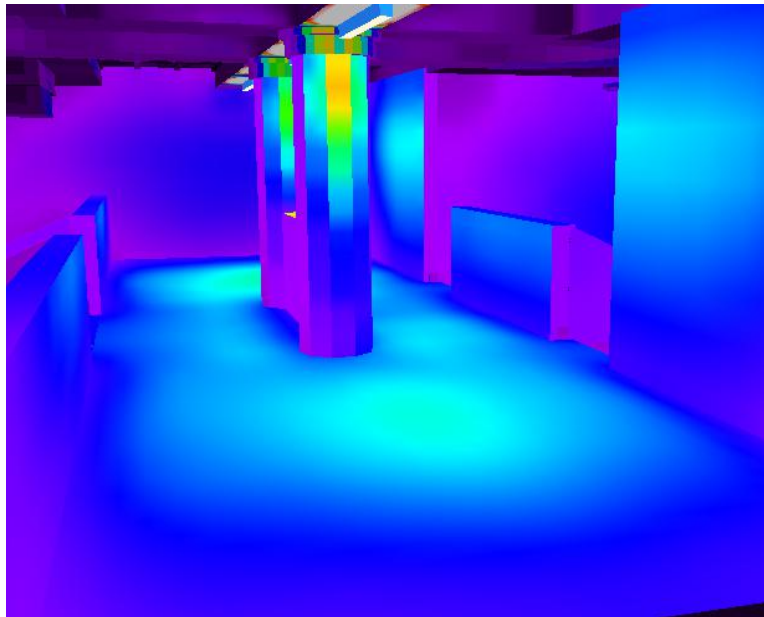


Рис 26. Результаты светотехнического расчета для действующей ОУ в псевдоцветах: а) платформенный зал, б) лестничный марш, в) зона перехода.



а)



б)

Рис 27. Визуализации светотехнического расчета для действующей ОУ: а) платформенный зал, б) зона перехода.

3.5. Экспериментальные исследования современного состояния световой среды станции

Чтобы проверить корректность расчета на станции были сделаны измерения горизонтальной освещенности на поверхности пола в нескольких точках с помощью люксметра “ТКА-ПКМ”/02 (рис. 30), основные технические характеристики которого представлены в табл. 9 [16]. Для замеров освещенностей были выбраны следующие точки: в центре платформенного зала между колонн и на краю платформы, в середине

пролета лестничного марша зоны перехода и в середине перехода. На рис. 31 показаны значения замеренной горизонтальной освещенности в сравнении с рассчитанным распределением освещенности, и как видно из рисунка расчетные значения соответствуют измеренным.

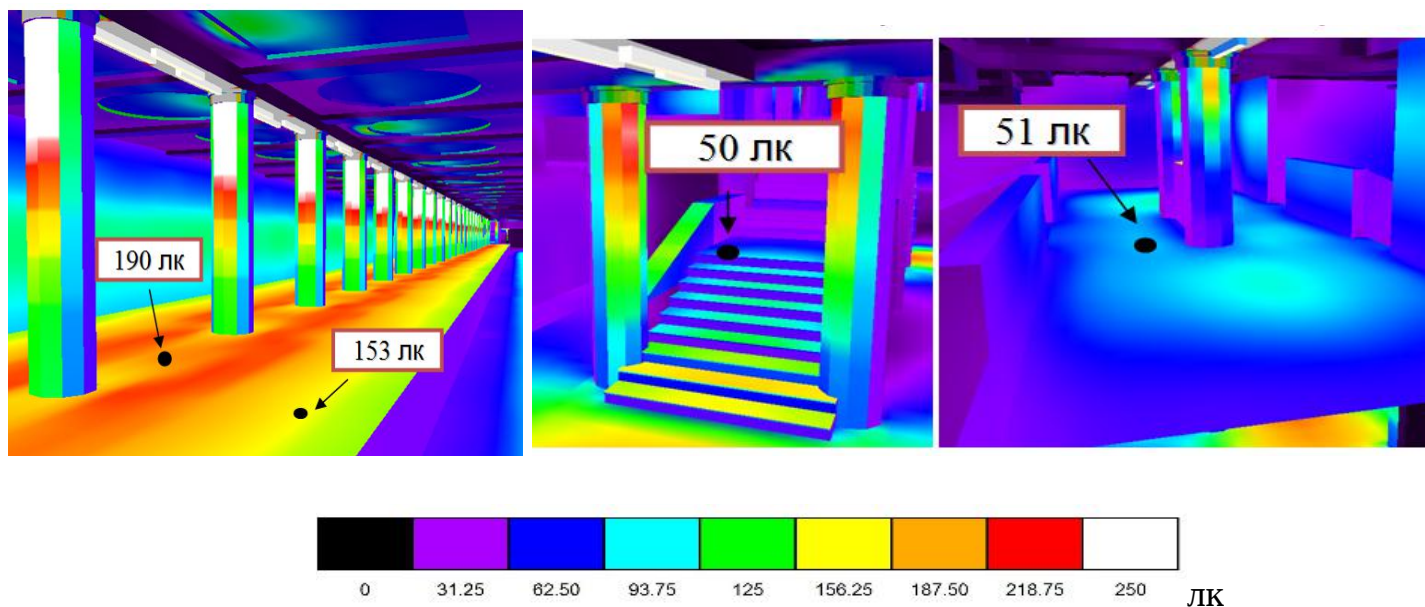


Рис 30. Изображение люксметра “ТКА-ПКМ”/02, используемого для проведения расчетов освещенности.

Таблица 9

Диапазон измерения, лк	10 - 200 000
Предел допускаемой основной относительной погрешности, %	±8,0
Время непрерывной работы прибора, ч, (не менее)	8,0
Масса прибора, кг (не более)	0,4
Габаритные размеры прибора, мм (не более): - блок обработки сигналов - фотометрическая головка	130x70x30 150x50x50

Температура окружающего воздуха, °С - нормальные рабочие условия - рабочий диапазон температур	20 ± 5 0...40
Относительная влажность воздуха при температуре окружающего воздуха 25°С, %, (не более)	95,0
Атмосферное давление, кПа	80...110



а) б) в)

Рис 31. Сравнения результатов расчета с проведенными замерах: а) платформенный зал, б) лестничный марш, в) зона перехода.

Для действующей ОУ также были рассчитаны значения объединенного показателя дискомфорта. Как видно из табл. 10 значения UGR не превышают нормируемое более чем на 20%, а, следовательно, удовлетворяют нормам. Стоит отметить, что значение UGR, рассчитанное для точки на путях, в которой в поле зрения машиниста попадает максимальное количество светильников, является предельным.

Таблица 10

Положение в пространстве	Нормируемое значение UGR	Значение UGR
		ОУ 2018г.
Поле зрения пассажира стоящего на полу платформенного зала	20 (допускается превышение на 20 %, т. е. не более 24)	22
Поле зрения пассажира стоящего на лестнице платформенного зала		23
Поле зрения пассажира стоящего в зоне перехода		22
Поле зрения машиниста, въезжающего на станцию		24

Аналогично расчету для ОУ 1935г. для действующей установки были также определены значения цилиндрической освещенности для платформенного зала и зоны перехода на высоте 1,5 м от уровня пола, которые составили 114 и 148 лк соответственно, что отвечает требованиям СП 32-105-2004 [15], которые говорят о том, что при наличии специальных архитектурно-художественных требований среднее значение цилиндрической освещенности нужно принимать не менее 75 лк.

Суммарная мощность световых приборов действующей ОУ составляет чуть менее 12 кВт, что свидетельствует о том, что ее эффективность почти в 5 раз выше по сравнению с первоначальной.

4. Разработка световой среды станции и средств ее обеспечения, соответствующих современным санитарным нормам и требованиям, предъявляемым к объектам культурного наследия

4.1 Анализ современного состояния станций Московского метрополитена и формулирование требований к реконструкции световой среды станции “Красносельская”

Световая среда – понятие, без которого трудно обойтись при написании этого раздела, поэтому необходимо дать этому термину определение. Световая среда – совокупность ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных излучений, генерируемых источниками естественного и искусственного света; важнейшая составляющая жизненной среды живых организмов и растений, определяемая световыми потоками источников света, трансформируемыми в результате взаимодействия с окружающей предметной средой, которая воспринимается по распределению света и цвета в пространстве. Иными словами, человек воспринимает световую среду как распределение светлоты и цвета, и, конечно, это распределение неизбежно влияет на здоровье и самочувствие человека, а, следовательно, формирование благоприятной световой среды – основная задача при реконструкции освещения станций метро.

Очевидно, что назначение и архитектурные особенности метрополитена как функции, с одной стороны чисто транспортной, а с другой подземного по существу замкнутого, безоконного сооружения состоящего из разрозненных, расположенных на разных уровнях частей с оригинальным архитектурным замыслом каждой станции и соответствующим их оформлением диктует нестандартное отношение к формированию световой среды метрополитена. Очевидно также, что наряду с чисто архитектурными задачами: объединения разрозненных объектов в единую пространственную композицию, исключаящую психофизиологический дискомфорт, обусловленный замкнутостью и локальностью пространства, световая среда в первую очередь должна обеспечивать безопасность перевозок и безусловную комфортность длительного пребывания в нехарактерных для человека

условиях обслуживающего персонала и пассажиров. Поэтому, построение световой среды по уровню освещенности, а, именно освещенность в различных зонах станционного пространства, должно базироваться на освещенности создаваемой подвижным составом на головке рельса.

К сожалению, возможности внешних световых приборов подвижного состава с течением времени менялись незначительно (0,5 - 1 лк), в силу чего, как видно из таблицы 5.1, несильно менялись и нормативы. Радикально ситуация изменилась в последнее время с появлением мощных белых светодиодов, что по сути и предопределило возможность совершенствования световой среды метрополитена.

Таблица 11

№	Год принятия нормативов	Освещенность в различных станционных зонах, лк.			
		переход	вестибюль	эскалатор	центральный зал подземной платформы
1	1935	60	100...125	-	50
2	1956	70	100	70	100
3	2010	100	200	100	200

При этом обследование состояния освещения станционных зон показывает относительно низкий уровень освещенности главных составляющих среды вестибюля, эскалаторной балюстрады, центральной платформы и боковых перронов, что делает модернизацию освещения неизбежным процессом. И это не следствие естественного старения, а скорее повод изменить световую среду, сложившуюся в результате ограниченных возможностей первоначальных проектов. Проектов малоэффективных, поскольку выполнены они на базе ламп накаливания, с ограниченными возможностями по потребляемой мощности, и мало что изменившей, последующей их заменой люминесцентной техникой, со всеми

вытекающими проблемами: пульсацией светового потока, необходимостью достаточно сложной утилизации ртути содержащих элементов, отсутствием возможности управления параметрами освещения и совершенно неприемлемым внешним видом.

В результате сформированная на подавляющем большинстве станций Московского метрополитена световая среда характеризуется:

- низким уровнем создаваемой на станции освещенности (рис. 32);

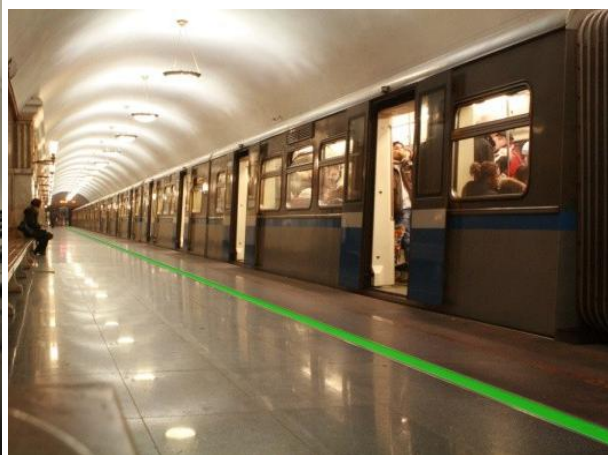


Рис. 32. Платформа станции «Черкизовская». Максимальная освещенность 75лк.

- высокой степенью неравномерности распределения освещенности в пределах одной станционной зоны (потолки платформ, своды эскалаторных балюстрад (рис. 33);



а)



б)

Рис. 33. Неравномерное освещение а) свода эскалаторной балюстрады; б) свода платформы.

- значительным перепадом освещенности между сопряженными станционными зонами (перрон и вагон подвижного состава, эскалатор и предэскалаторные зоны вестибюля или платформы, центральный и боковые перроны платформы (табл. 12);
- отсутствием специальной подсветки элементов декора (рис. 34);



Рис. 34. Высокий яркостной контраст при отсутствии специальной подсветки.

- пульсацией светового потока (K_p) излучаемого источниками света: светодиодного, $K_p = 0,5\%$ (рис. 35а); люминесцентного, $K_p = 25,5\%$ (рис. 35б);

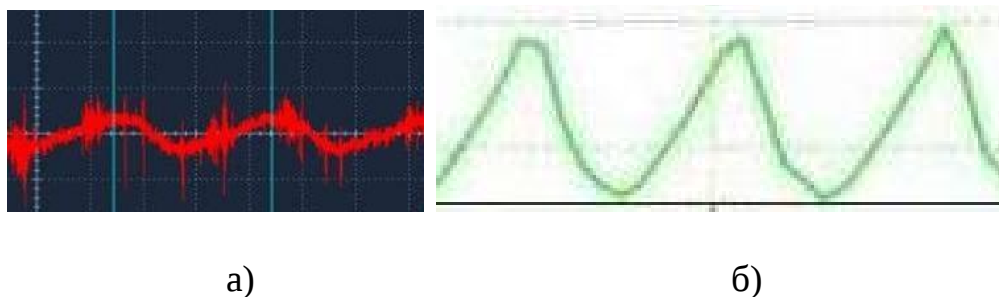


Рис. 35. Пульсация светового потока источников света. а) светодиодного, б) люминесцентного.

- наличием в поле зрения элементов слепящей блескости (рис. 36);



Рис.36. Источники слепящей блескости, находящиеся в поле зрения.

- значительным перепадом освещенности на зрительном аппарате пассажира находящимся на эскалаторе (рис. 37);

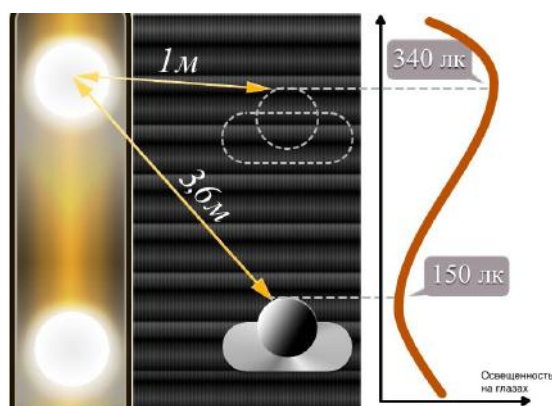


Рис. 37. Изменение освещенности на зрительном анализаторе при движении эскалатора.

- наличием в поле зрения излучения источников света или следа сформированного ими светового пучка с различной коррелированной цветовой температурой (рис. 38);

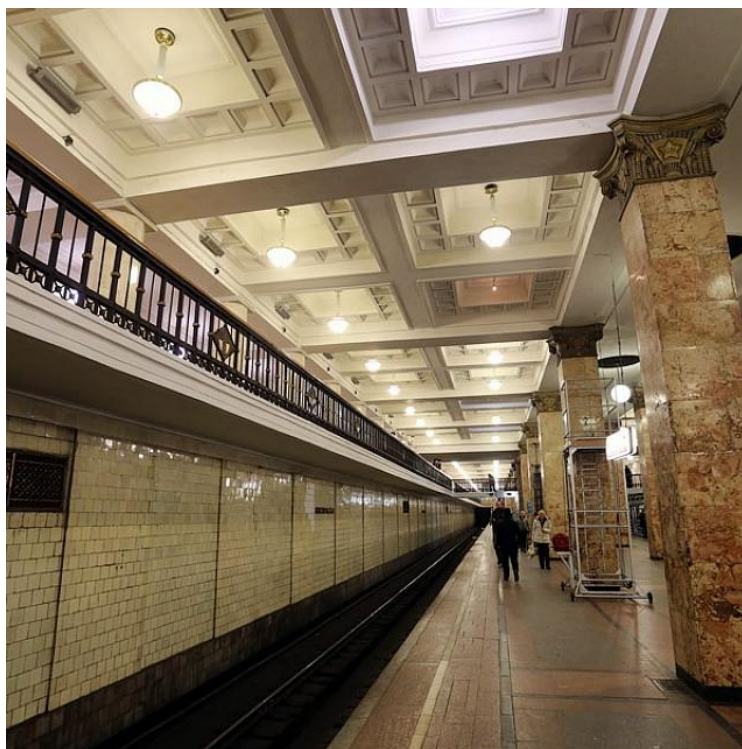


Рис. 38. Освещение кессонов источниками света с различной цветовой температурой.

- отсутствием возможности управления как уровнем создаваемой на станционном пространстве освещенности, так и значением коррелированной цветовой температуры .

Таким образом, учитывая, что современный пассажир проводит в метрополитене до двух часов ежедневно, а в ближайшей перспективе и того больше, степень влияния такой световой среды на его психофизиологическое состояние трудно переоценить. Характер воздействия параметров световой среды на психофизиологическое состояние человека [17, 18] показан в таблице 12.

Таблица 12

№ п/п	Показатель световой среды станции метрополитена	Характер психофизиологического расстройства
№	1	2
1	Низкий уровень создаваемой на станции освещенности	раздражение, усталость
2	Высокая степень неравномерности распределения освещенности в пределах одной станционной зоны	раздражение, утомление
3	Значительный перепад освещенности между сопряженными станционными зонами	раздражение
4	Отсутствием специальной подсветки элементов декора	раздражение
5	Пульсация светового потока излучаемого источниками света	раздражение, усталость, головная боль
6	Наличие в поле зрения элементов слепящей блескости	дискомфорт, длительная переадаптация с нарушением функций зрения, нарушение цветового восприятия
№	1	2
7	Значительным перепадом освещенности на зрительном аппарате пассажира находящимся на эскалаторе	раздражение, усталость
8	Наличие в поле зрения излучения источников света или следа сформированного ими светового пучка с различной коррелированной цветовой температурой	раздражение, усталость
9	Отсутствие возможности управления как уровнем создаваемой на станционном пространстве освещенностью, так и значением коррелированной световой температурой	раздражение, угнетенный тонус, снижение работоспособности

Приведенный выше анализ показывает, что при реконструкции освещения станции “Красносельская” новой ОУ придется решать ряд непростых задач, среди которых:

- обеспечение безопасных уровней освещенности на всех участках станции;
- обеспечение визуального соответствия новых световых приборов утраченным светильникам, заложенным в проектах 30-х годов;
- выявление основных архитектурных элементов платформенного зала станции (круглых и квадратных кессонов);
- возвращение утраченного светового оформления лестничного марша зоны перехода;
- устранение дискомфорта действия от световых приборов согласно современным отраслевым нормам;
- сохранение или даже снижение потребляемой мощности.

4.2 Анализ преимуществ использования светодиодных источников света при реконструкции освещения

В сложившейся ситуации, когда изменение внешнего вида, формы и способов установки светильников для освещения различных зон станции “Красносельская” не представляется возможным, ввиду требований, предъявляемых к объектам культурного наследия, основным предметом исследования становится влияние источника света, установленного в светильник на формирование световой среды станции.

Сегодня задачи восстановления утраченного облика станции за счет освещения станций воссозданными историческими приборами решаются значительно проще с использованием светодиодной техники которая позволяет за счет увеличения световой отдачи (с 15...17Лм/Вт у ламп

накаливания световых приборов 30-х годов до 100...120 Лм/Вт) добиться необходимой освещенности при уменьшении потребляемой мощности. При этом их применение позволяет снизить издержки на обслуживание за счет, увеличения срока службы используемых источников света с 500 ч до 50 000ч.

Кроме того, современные светодиодные матрицы имеют малые габариты, существенно снижающие габариты собственно светового прибора, а поэтому легко маскируются в уже существующих нишах для освещения декоративных особенностей станций, например, больших мозаичных или витражных панно, без нарушения первоначального архитектурного замысла. При этом, они обеспечивают формирование световых полей с различной цветовой температурой в значительном диапазоне 2800К...6000К, что позволяет, в свою очередь, управлять цветовыми контрастами при освещении архитектурного декора, например мозаики.

В параграфах ниже будут проанализированы с точки зрения соответствия современным нормам, эффективности и возможности воссоздания первоначального внешнего облика станции несколько возможных вариантов реконструкции освещения станции метро “Красносельская” с различными источниками света и конструктивными решениями воссозданных исторических световых приборов 30х годов 20 в.

4.3. Первый вариант реконструкции освещения

Как известно, по сравнению с 1935г. требования к горизонтальной освещенности на поверхности пола изменились в четыре раза (табл. 5 и 8), и, следовательно, в случае использования источников света в форм-факторе лампы световые потоки светильников платформенного зала следует поднять в 4 раза. Плафоны диаметром 720 мм, которые устанавливались в круглые кессоны, имели световой поток примерно 3600 лм, следовательно, световой

поток нового светильника должен быть не менее 14 400 лм, а с учетом поглощения молочного стекла суммарный поток от ламп должен составить более 20,5 тыс. лм. Совершенно очевидно, что использование компактных люминесцентных ламп не позволит добиться этого значения потока, ввиду ограниченного пространства внутри плафона, зато с этой задачей легко справятся светодиодные модули, установленные в плафон зоны перехода и плафон диаметром 720 мм, установленный в круглый кессон платформенного зала (рис. 40). Модели светильников выполнены с помощью программного обеспечения Solidworks [20].



Рис 40. Пример установки светодиодного модуля в плафон, используемый для освещения зоны перехода.

Декоративная подсветка кольцеобразных навесных конструкций и капителей колонн лестничного марша будет осуществляться за счет установки светодиодных линейных ламп за пластины молочного стекла как показано на рис. 41. Такие же лампы будут установлены в подвесные цилиндрические светильники платформенного зала.

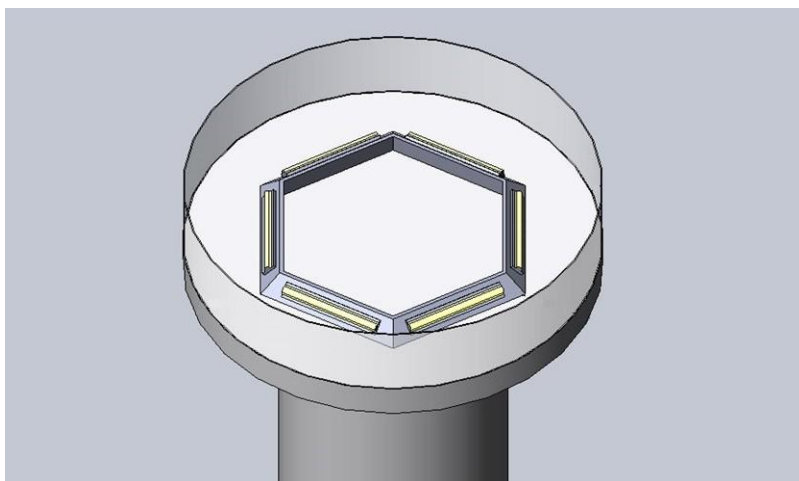
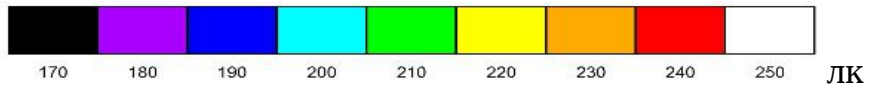
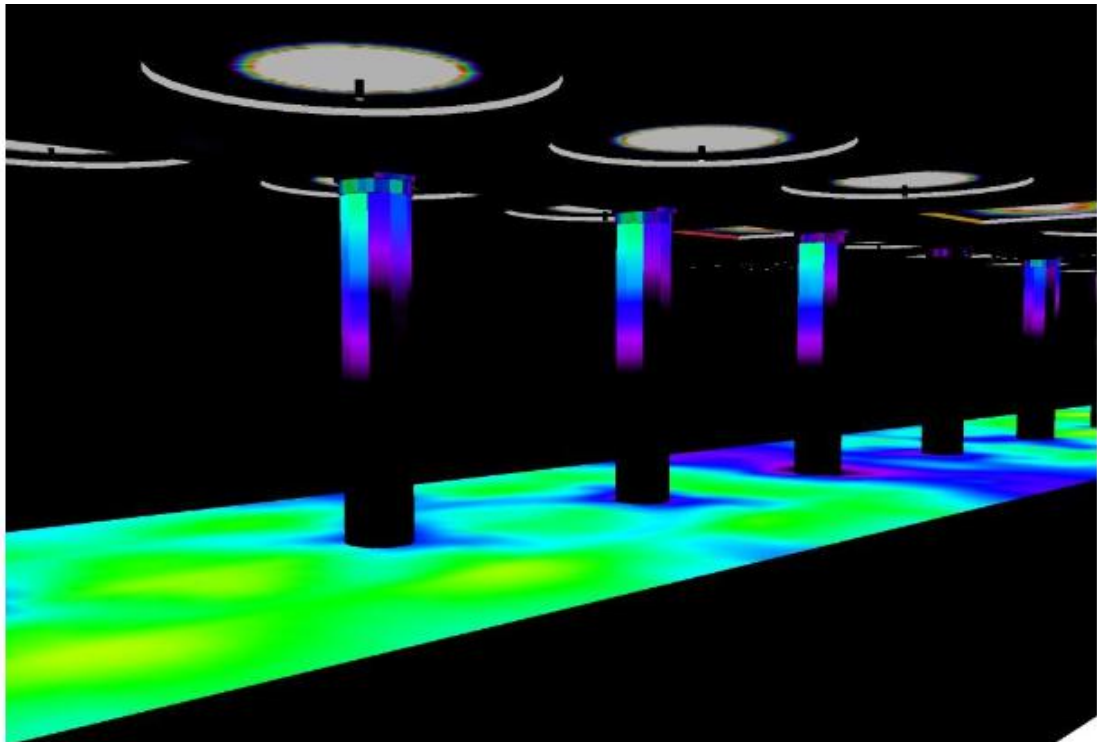
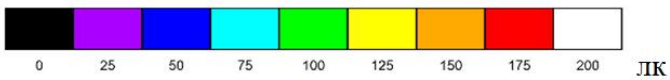
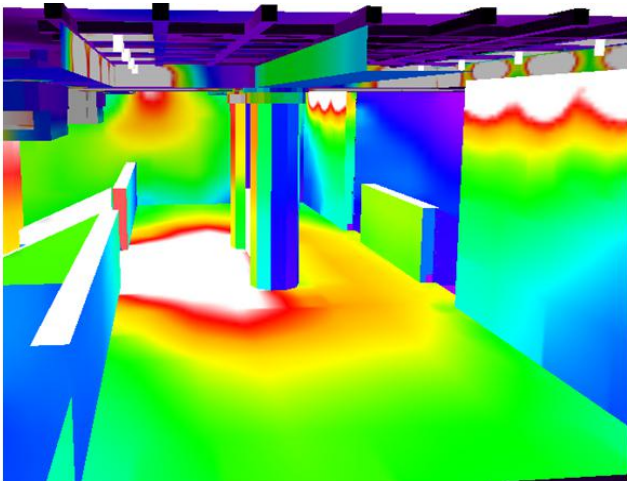


Рис 41. Пример установки светодиодных линейных ламп за пластины молочного стекла для декоративной подсветки капителей колонн.

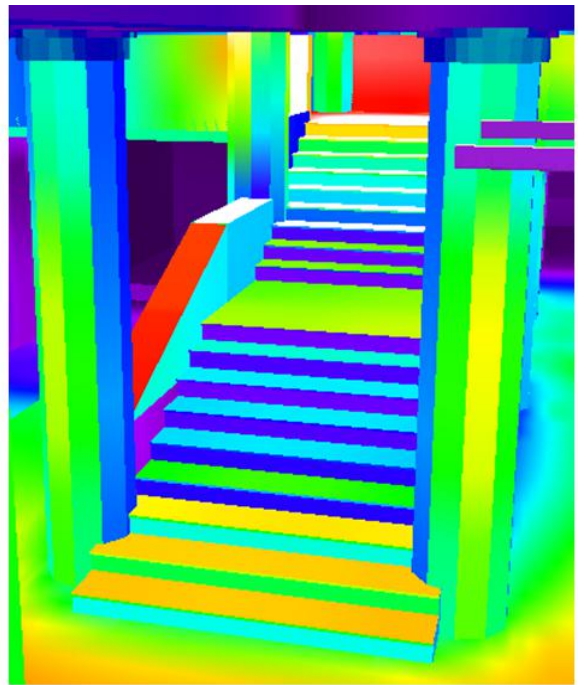
Со всеми вышеописанными светильниками был проведен светотехнический расчет в программе Dialux 4.13. На рис. 42 представлены результаты расчета распределения освещенности по полу платформенного зала с увеличенным в 4 раза световым потоком используемых светильников. Поскольку свет от светодиодного модуля рассеивается, проходя через молочное стекло КСС светильника в данном случае совпадает с КСС, используемой для расчета ОУ 1935 г. Результаты расчета ОУ (далее именуемой ОУ №1) показывают, что такое увеличение потока позволяет поднять уровень освещенности платформенного зала до нормируемого (рис. 42а и табл. 13). Аналогичный расчет зоны перехода и лестничного марша также свидетельствует о том, что современные отраслевые нормы освещенности метро соблюдены (рис. 42б и 42в). При этом общая потребляемая мощность ОУ №1 составит приблизительно 14 кВт.



a)



б)



в)

Рис 42. Результаты светотехнического расчета для ОУ №1 в псевдоцветах: а) платформенный зал, б) зона перехода, в) лестничный марш.

Таблица 13

Зона	Платформенные залы	Переходы между станциями	Гребенки эскалаторов и лестничные марши
Плоскость нормирования	поверхность пола	поверхность пола	уровень ступени
Нормируемое минимальное значение горизонтальной освещенности, лк (допускается превышение на 20% и занижение на 10%)	200	100	100
Расчетное минимальное значение горизонтальной освещенности, лк	190	100	90

Из результатов расчета объединенного показателя дискомфорта понятно (табл. 14), что простое увеличение потока светильника с тем же светораспределением, что и в 1935г., будет доставлять ощутимый зрительный дискомфорт пассажирам, находящимся в каждой зоне станции. Следовательно, для устранения слепящего действия от источников света требуется либо использовать дополнительные световые приборы, не противоречащие задумке архитекторов и не нарушающие тектонику станции, либо перераспределить поток светильников.

Таблица 14

Положение в пространстве	Нормируемое значение UGR	Значение UGR
		ОУ №1

Поле зрения пассажира стоящего на полу платформенного зала	20 (допускается превышение на 20 %, т. е. не более 24)	>30
Поле зрения пассажира стоящего на лестнице платформенного зала		>30
Поле зрения пассажира стоящего в зоне перехода		23
Поле зрения машиниста, въезжающего на станцию		24

4.4. Второй вариант реконструкции освещения

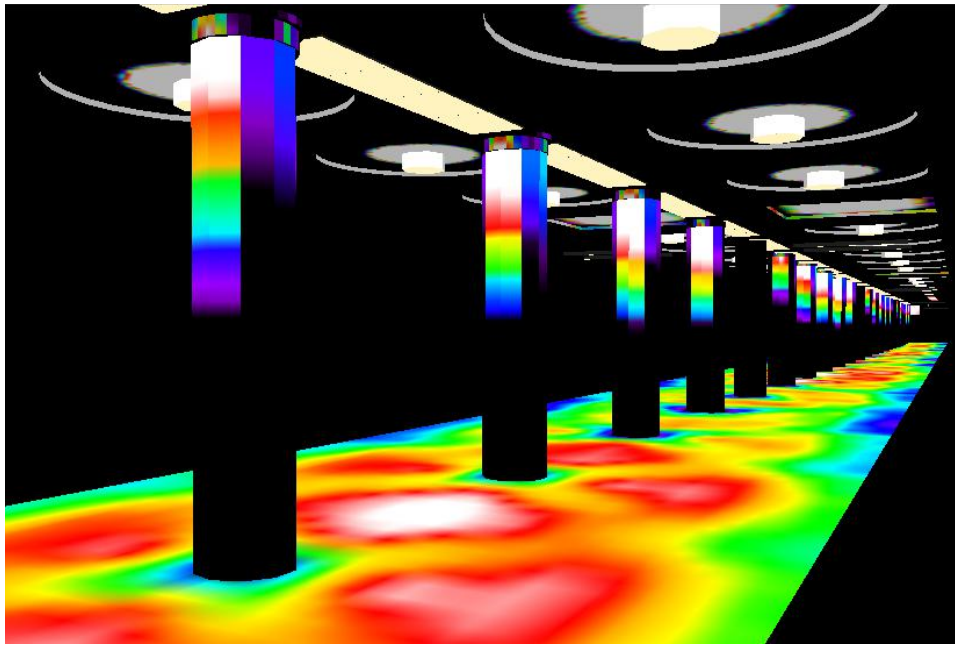
Выбор места установки дополнительных световых приборов в платформенном зале простой с точки зрения архитектуры и оформления станции “Красносельская” оказался непростой задачей, тем не менее, он был сделан. Вдоль оси платформы по центру над колоннами располагается балка, на которой сегодня размещаются светильники с люминесцентными лампами. На нижнюю поверхность балки было принято решение установить тонкие светодиодные панели, которые бы тянулись по центру всей станции как показано на рис. 43. Световой поток плоских светильников, расположенных между колоннами составит 1200 лм, при этом световые потоки круглых плафонов с светодиодными модулями в качестве источника света уменьшатся до 10 000 лм, а цилиндрических подвесных светильников до 1600 лм. Конструкции цилиндрических подвесных светильников, плафонов для

освещения зоны перехода, декоративной подсветки навесных конструкций и капителей колонн останутся теми же, что были описаны в предыдущем параграфе.

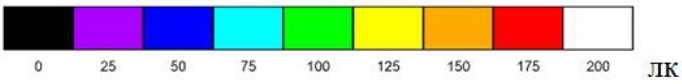
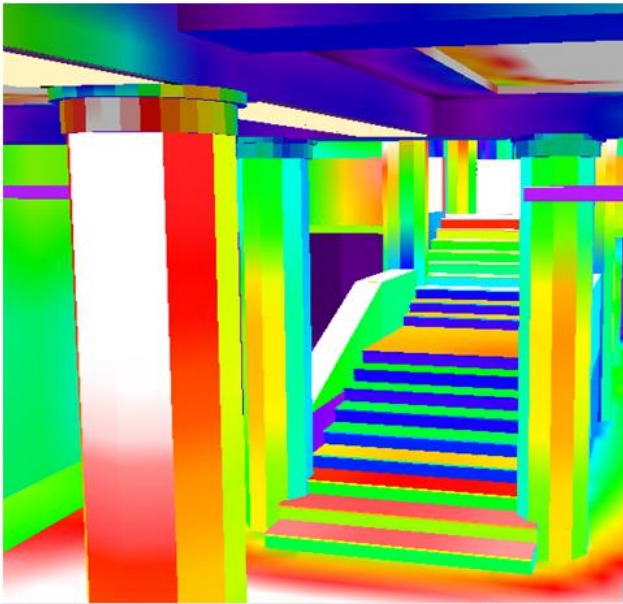
По результатам расчета ОУ №2 (рис. 44 и табл. 15) видно, что в целом, современные нормы освещенности выполнены во всех зонах станции, однако на рис. 44в наблюдается значительное завышение освещенности в области, где лестничный марш переходит в зону перехода. Это связано с тем, что лестничный марш освещается в этом случае за счет отраженного света от контурной подсветки колонн лестницы, и чтобы обеспечить освещенность на поверхности ступени более 100 лк, поток линейных светодиодных светильников, установленных за пластины молочного стекла на капители одной колонны должен составлять не менее 16 000 лм, а из-за разницы высот лестницы и поверхности пола перехода место их соединения получается пересвеченным. Расчетные значения UGR также не превышают нормируемые (табл. 16). Общая мощность ОУ №2 составит по примерным расчетам составит около 13 кВт.



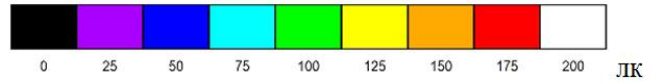
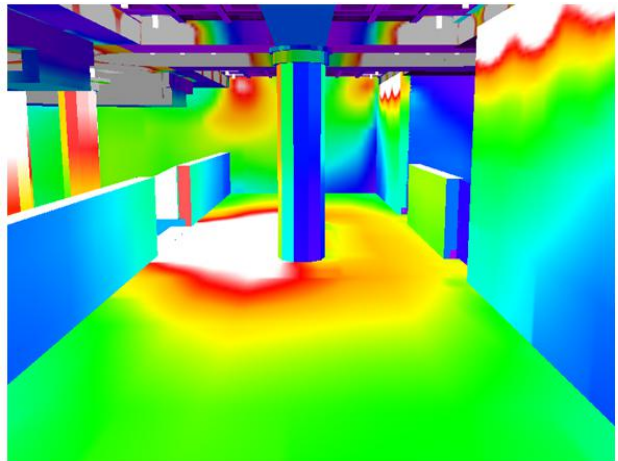
Рис 43. Визуализация платформенного зала с ОУ №2.



a)



б)



в)

Рис 44. Результаты расчета ОУ №2: а) платформенный зал, б) лестничный марш, в) зона перехода.

Таблица 15

Зона	Платформенные залы	Переходы между станциями	Гребенки эскалаторов и лестничные марши
Плоскость нормирования	поверхность пола	поверхность пола	уровень ступени
Нормируемое минимальное значение горизонтальной освещенности, лк (допускается превышение на 20% и занижение на 10%)	200	100	100
Расчетное минимальное значение горизонтальной освещенности, лк	183	100	100

Таблица 16

Положение в пространстве	Нормируемое значение UGR	Значение UGR
		ОУ №2
Поле зрения пассажира стоящего на полу платформенного зала	20 (допускается превышение на 20 %, т. е. не более 24)	23
Поле зрения пассажира стоящего на лестнице платформенного зала		23
Поле зрения пассажира стоящего в зоне перехода		23
Поле зрения машиниста, въезжающего на станцию		23

В целом, дополнительные светильники, используемые для освещения станции, не нарушают общую тектонику и ритм станции и не привлекают к себе лишнее внимание пассажиров, а значит, описанная осветительная установка может быть использована для ее освещения, однако факт применения световых приборов, не фигурировавших в проектах архитекторов потребует дополнительной экспертизы на предмет сохранения статуса объекта культурного наследия. Поэтому предлагается рассмотреть альтернативные пути реконструкции освещения станции.

4.5. Третий вариант реконструкции освещения

Для устранения слепящего действия от световых приборов платформенного зала необходимо значительно уменьшить яркость участка плафона, попадающего в глаза пассажирам и машинисту, при этом обеспечивая нормируемые 200 лк на полу платформы. В случае с подвесными цилиндрами эта задача довольно легко решается с установкой четырех линеек светодиодов, если свет от двух линеек направить в верхнюю полусферу, чтобы они с большим потоком освещали кессон, при этом оставшиеся две линейки должны светить в нижнюю полусферу с меньшим потоком (рис. 45 и 46). В таком случае отраженный свет от кессона равномерно осветит платформенный зал, при этом не доставляя зрительного дискомфорта пассажирам и машинисту. КСС на рис. 45б получена с помощью плагина к Solidworks, программного пакета Photopia [21].

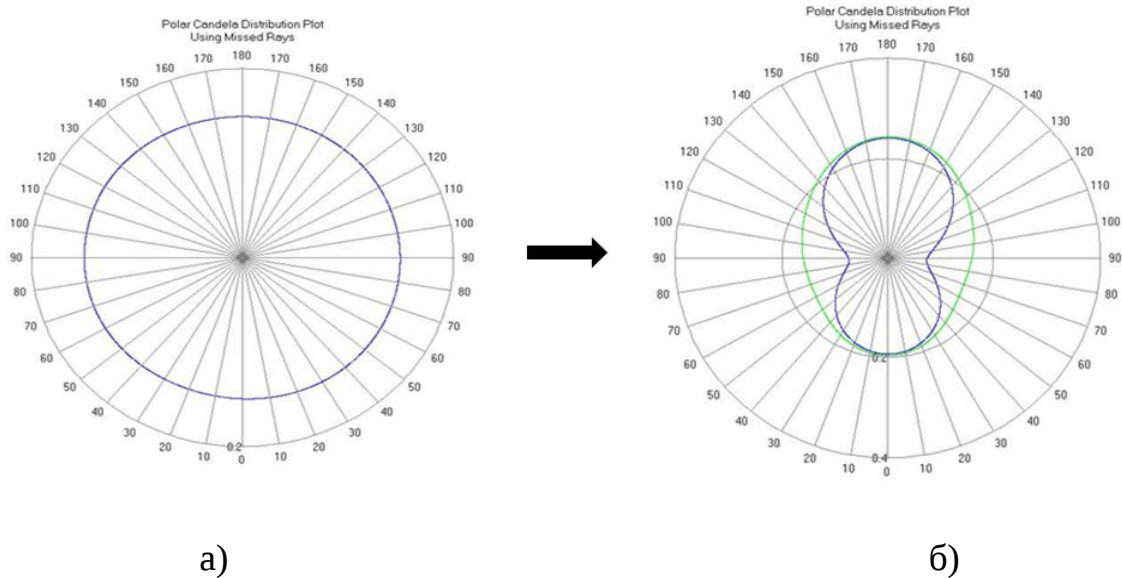
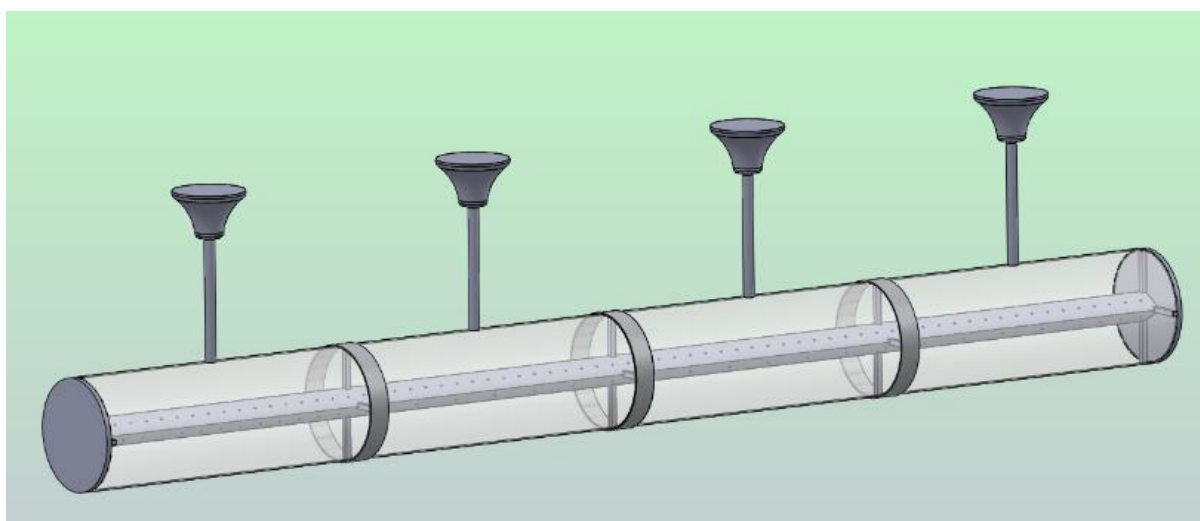
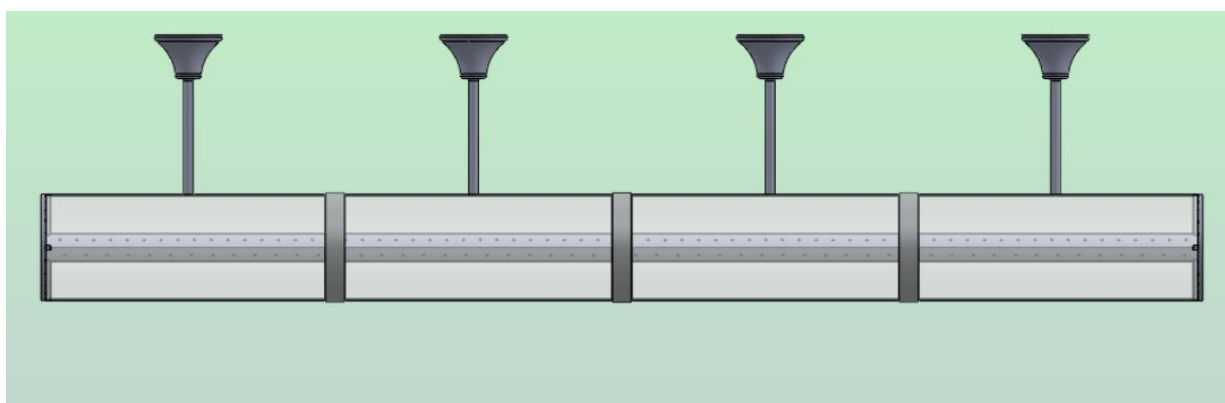


Рис 45. Перераспределение потока цилиндрического подвесного светильника платформенного зала: а) КСС исторического светильника, б) КСС предлагаемого светильника.



а)



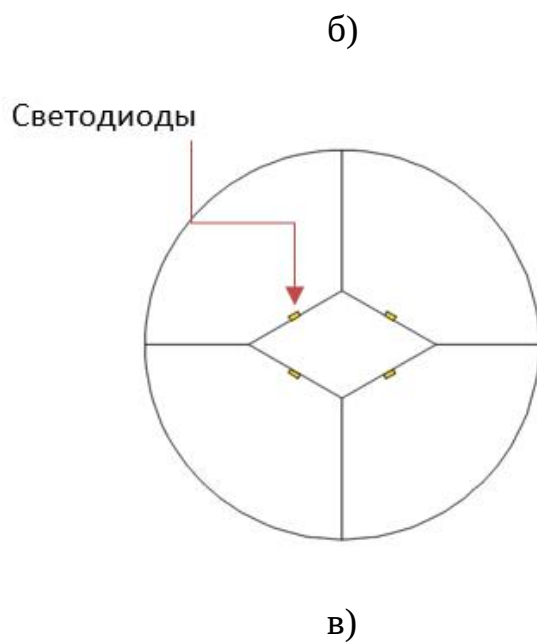


Рис 46. Модель цилиндрического подвесного светильника: а) объемный вид, б) вид слева, в) поперечное сечение.

С круглыми плафонами диаметром 720 мм ситуация обстоит сложнее, так как возможность подвеса плафона, при этом направляя его свет в кессон и освещая платформу отраженным светом от потолка отсутствует. Решить эту задачу возможно, используя отражатель из оптического поликарбоната толщиной 3 мм, покрытый тонким слоем алюминия ($<700 \text{ \AA}$) так, чтобы 80% светового потока отражались в верхнюю полусферу, и только 20% проходило через небольшие просветы вниз. Такое решение позволит направить часть потока в стороны, выделить круглый кессон платформенного зала, и, наконец, значительно снизить яркость нижней части плафона (рис. 47). Для формирования требуемой КСС необходим отражатель особой формы, представленный на рис. 48.

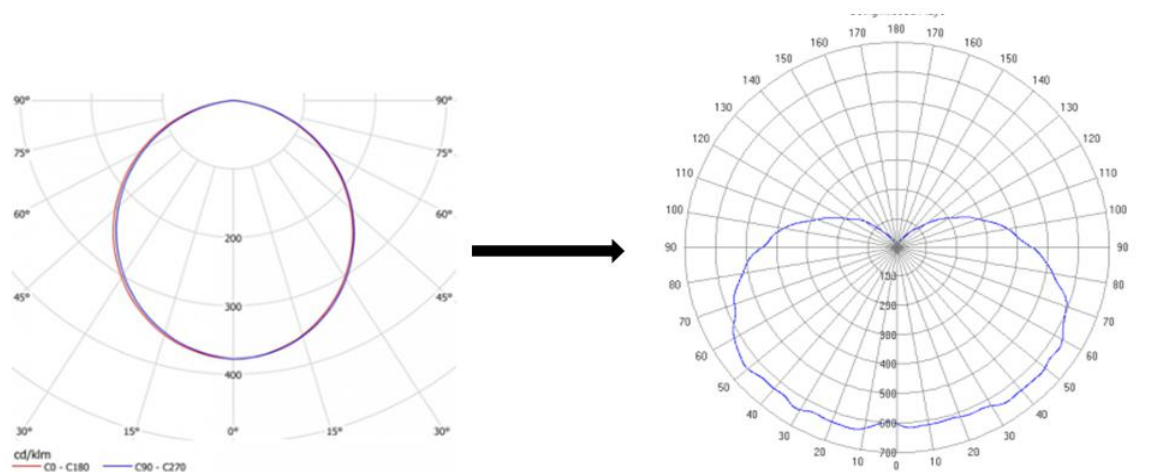


Рис 47. Перераспределение потока круглого плафона диаметром 720 мм.: а) КСС исторического светильника, б) КСС предлагаемого светильника.

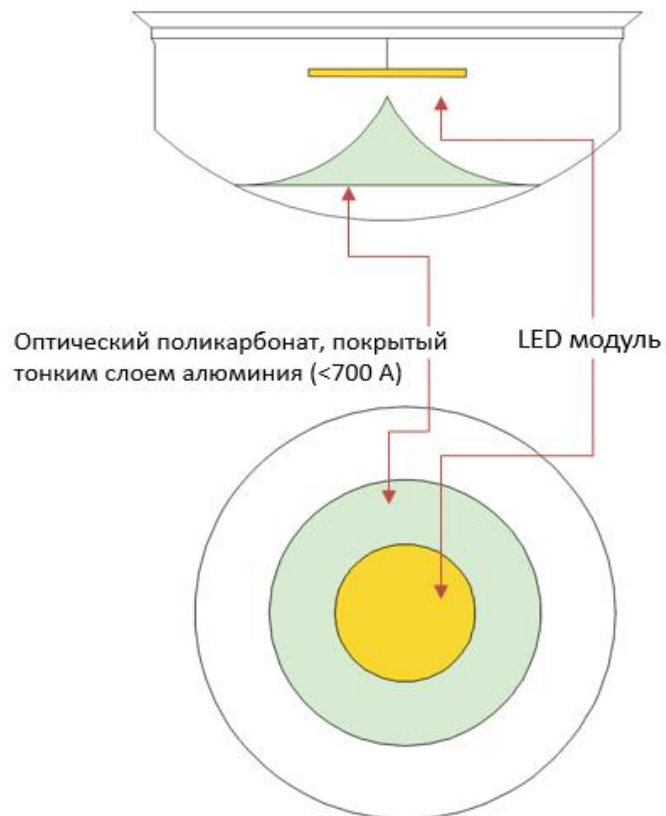
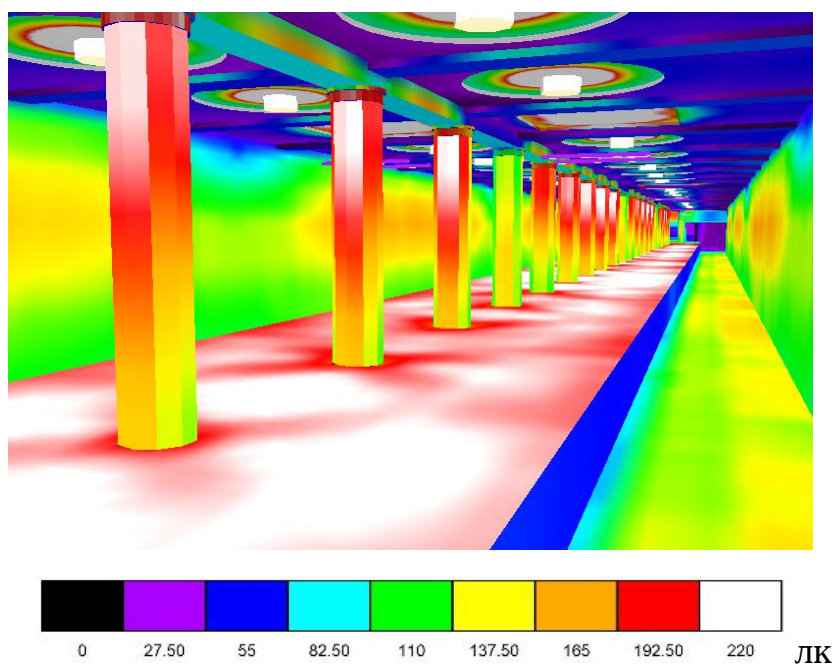


Рис 48. Схематичное изображение установки отражателя в полость круглого плафона диаметром 720 мм.: а) сечение вертикально-проецирующей плоскостью, б) сечение горизонтально-проецирующей плоскостью.

Для проверки выполнения отраслевых норм освещенности метро был проведен светотехнический расчет, результаты которого представлены на рис.

49. Расчет показывает, что такая конструкция светильника позволяет создать необходимую освещенность на уровне пола (табл. 17) и при этом избежать зрительного дискомфорта, вызванного яркими поверхностями светильников (табл. 18).

Значительное поглощение света рассеивателем сложной формы ($\approx 25\%$) привело к тому, что этот вариант реконструкции освещения можно назвать наименее энергоэффективным. Суммарная мощность всех световых приборов при этом варианте освещения составит чуть менее 14,9 кВт.



а)

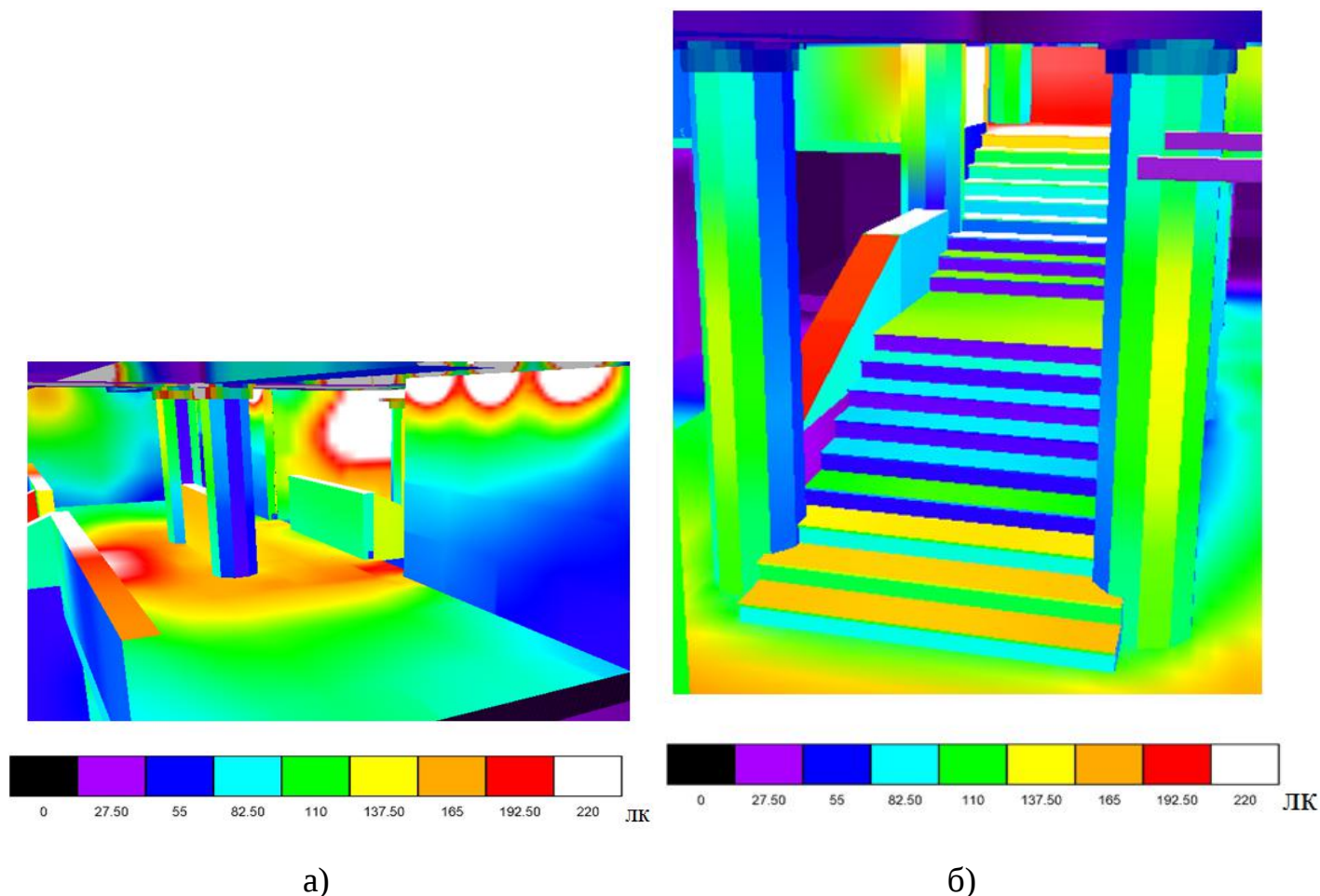


Рис 49. Результаты расчета ОУ №3: а) платформенный зал, б) зона перехода, в) лестничный марш.

Таблица 17

Зона	Платформенные залы	Переходы между станциями	Гребенки эскалаторов и лестничные марши
Плоскость нормирования	поверхность пола	поверхность пола	уровень ступени
Нормируемое минимальное значение горизонтальной освещенности, лк (допускается превышение на 20% и занижение на 10%)	200	100	100

Расчетное минимальное значение горизонтальной освещенности, лк	192	100	95
--	-----	-----	----

Таблица 18

Положение в пространстве	Нормируемое значение UGR	Значение UGR
		ОУ №3
Поле зрения пассажира стоящего на полу платформенного зала	20 (допускается превышение на 20 %, т. е. не более 24)	23
Поле зрения пассажира стоящего на лестнице платформенного зала		22
Поле зрения пассажира стоящего в зоне перехода		23
Поле зрения машиниста, въезжающего на станцию		22

4.6. Четвертый вариант реконструкции освещения

Предыдущий вариант реконструкции освещения станции “Красносельская” может быть доработан, если перераспределить поток плафона диаметром 720 мм., установленного в круглые кессоны платформенного зала без помощи рассеивателя, а вместо него установить цилиндрический светодиодный модуль, боковая поверхность которого излучала бы БОльший световой поток по сравнению с нижним основанием

(рис. 50). Этот способ позволит снизить потребляемую мощность светильников за счет отсутствия потерь светового потока в отражателе. Конструкция цилиндрических подвесных светильников, установленных в квадратные кессоны и всех остальных световых приборов при этом останется такой же как описано в параграфе 4.5.

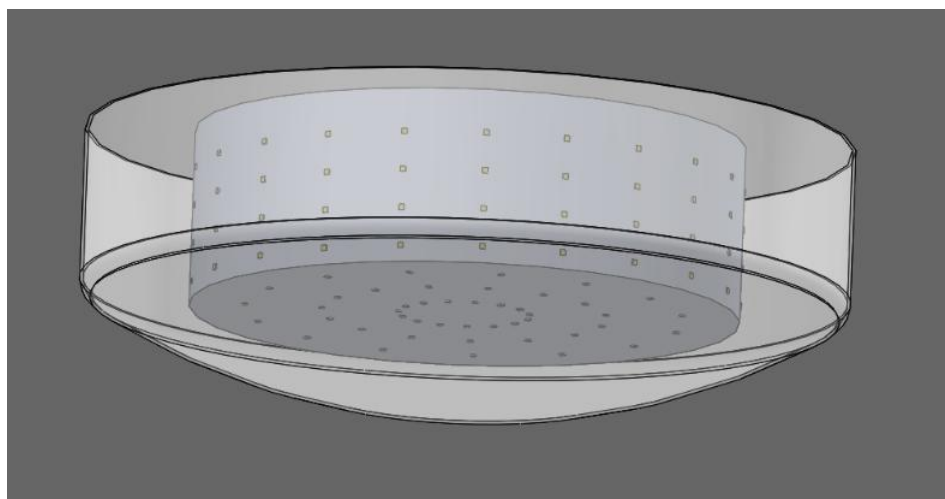
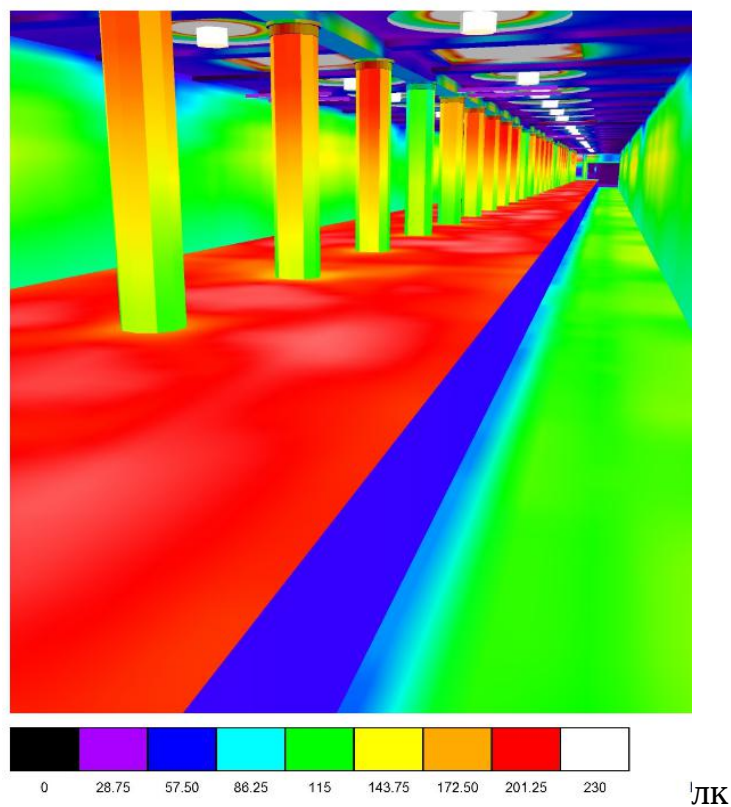
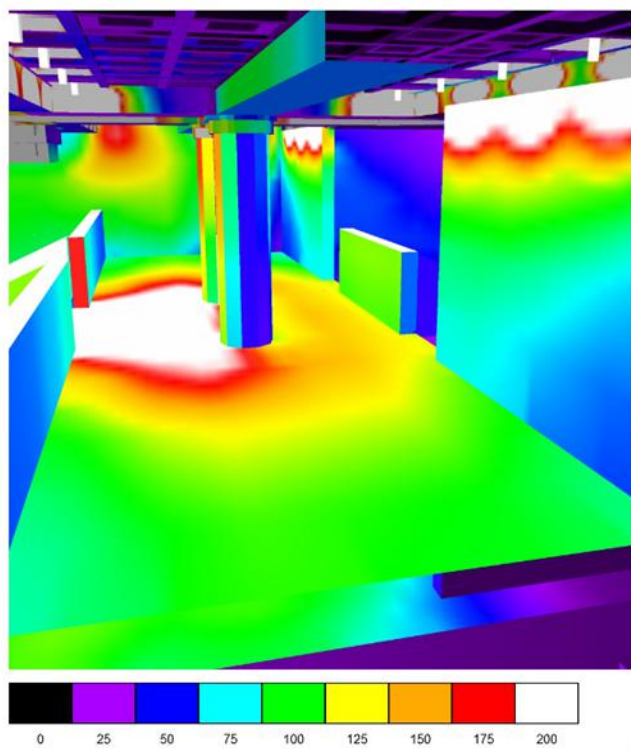


Рис 50. Модель круглого плафона платформенного зала.

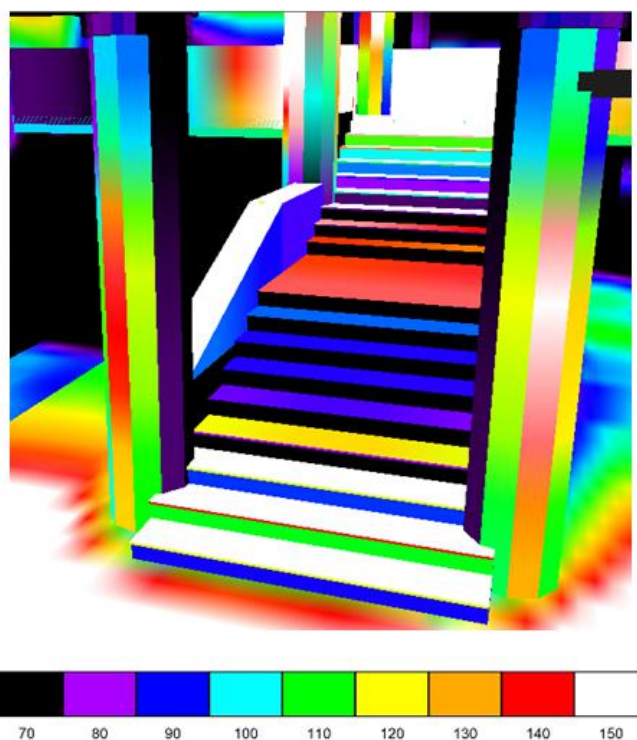
С усовершенственным круглым плафоном и остальными световыми приборами станции был проведен светотехнический расчет, результаты которого представлены ниже.



а)



б)



в)

Рис 51. Результаты расчета ОУ №4: а) платформенный зал, б) зона перехода, в) лестничный марш.

Таблица 19

Зона	Платформенные залы	Переходы между станциями	Гребенки эскалаторов и лестничные марши
Плоскость нормирования	поверхность пола	поверхность пола	уровень ступени
Нормируемое минимальное значение горизонтальной освещенности, лк (допускается превышение на 20% и занижение на 10%)	200	100	100
Расчетное минимальное значение горизонтальной освещенности, лк	201	100	90

Таблица 20

Положение в пространстве	Нормируемое значение UGR	Значение UGR
		ОУ №3
Поле зрения пассажира стоящего на полу платформенного зала	20 (допускается превышение на 20 %, т. е. не более 24)	23
Поле зрения пассажира стоящего на лестнице платформенного зала		22
Поле зрения пассажира стоящего в зоне перехода		23
Поле зрения машиниста, въезжающего на станцию		22

По результатам светотехнического расчета, проведенного с учетом характеристик предлагаемых приборов (рис. 51), а также основываясь на визуализации полученных образов (рис. 52), можно сделать вывод о том, что внешний облик станции при такой реконструкции освещения становится аутентичным замыслам архитекторов (рис. 8 и 9). При этом, новая ОУ позволяет не только выявить основные архитектурные элементы станции, но и в полной мере удовлетворяет современные нормы по освещенности и UGR (рис. 51, табл. 20). Кроме того, световые приборы обеспечивают хорошую насыщенность светом на станции, расчетное цилиндрической освещенности платформенного зала составляет 119 лк. Описанные выше конструктивные решения позволили снизить суммарную потребляемую мощность ОУ №4 до 10,7 кВт.



а)



б)

Рис 52. Визуализация станции «Красносельская» с ОУ №4. а) Платформенный зал, б) лестничный марш зоны перехода.

4.7. Сравнение вариантов реконструкции освещения станции метро “Красносельская” и выбор наиболее оптимального с точки зрения выполнения требований, предъявляемых к освещению станции

Для выбора оптимального варианта реконструкции станции “Красносельская” необходимо провести сравнительный анализ всех ОУ описанных в параграфах выше. Критериями сравнения будут являться:

- горизонтальная освещенность, создаваемая на поверхности пола или ступенек всех зон станции;
- расчетные значения объединенного показателя дискомфорта UGR для четырех наихудших точек наблюдения пассажиров и машиниста;
- суммарная потребляемая мощность осветительной установки.

Все полученные в результате анализа расчетные значения сведены в 5 таблиц, представленных ниже (табл. 21 – 25). В таблицах по критерию сравнения разделены результаты светотехнических расчетов всех возможных вариантов освещения станции “Красносельская”, включая осветительные установки 1935 и 2018 гг. Зеленым цветом в таблицах отмечены наилучшие результаты, черным – хорошие результаты и красным – неудовлетворяющие нормы.

Таблица 21

Зона	Платформенные залы					
	ОУ 1935г.	ОУ 2018г.	ОУ №1	ОУ №2	ОУ №3	ОУ №4
Плоскость нормирования	поверхность пола					
Нормируемое значение горизонтальной освещенности, лк	50	200 (допускается превышение на 20% и занижение на 10%)				
Расчетное значение горизонтальной освещенности, лк	50	126	190	183	195	201

Таблица 22

Зона	Переходы между станциями					
	ОУ 1935г.	ОУ 2018г.	ОУ №1	ОУ №2	ОУ №3	ОУ №4
Плоскость нормирования	поверхность пола					
Нормируемое значение горизонтальной освещенности, лк	60	100 (допускается превышение на 20% и занижение на 10%)				
Расчетное значение горизонтальной освещенности, лк	60	62	100	100	100	100

Таблица 23

Зона	Гребенки эскалаторов и лестничные марши					
	ОУ 1935г.	ОУ 2018г.	ОУ №1	ОУ №2	ОУ №3	ОУ №4
Плоскость нормирования	уровень ступени					
Нормируемое значение горизонтальной освещенности, лк	-	100 (допускается превышение на 20% и занижение на 10%)				
Расчетное значение горизонтальной освещенности, лк	25	45	90	100	95	90

Таблица 24

Положение в пространстве	Нормируемое значение UGR	Значение UGR					
		ОУ 1935 г.	ОУ 2018 г.	ОУ №1	ОУ №2	ОУ №3	ОУ №4
Поле зрения пассажира стоящего на полу платформенного зала	20 (допускается превышение на 20%, т. е. не более 24)	26	22	>30	23	23	23
Поле зрения пассажира стоящего на лестнице платформенного зала		26	23	>30	23	22	22
Поле зрения пассажира стоящего в зоне перехода		22	22	23	23	23	23
Поле зрения машиниста, въезжающего на станцию		26	24	24	23	22	22

Таблица 25

Суммарная потребляемая мощность, кВт					
ОУ 1935 г.	ОУ 2018 г.	ОУ №1	ОУ №2	ОУ №3	ОУ №4
59	12	14	13	14,9	12,8



Рис 53. Диаграмма сравнения суммарной потребляемой мощности всех возможных вариантов освещения станции “Красносельская”.

Из таблиц 21-25 и рис. 53 очевидно, что по количеству наилучших результатов лидирует ОУ №4, описанная в параграфе 4.6. Среди ее основных преимуществ можно выделить следующие:

- обеспечение необходимых уровней освещенности на всех участках станции;
- отсутствие зрительного дискомфорта от световых приборов, освещающих станцию, у пассажиров и машиниста;

- наименьшая потребляемая мощность среди всех возможных вариантов освещения станции;
- отсутствие дополнительных световых приборов, не фигурировавших в проектах архитекторов станции;
- полное удовлетворение требованиям, предъявляемым к объектам культурного наследия.

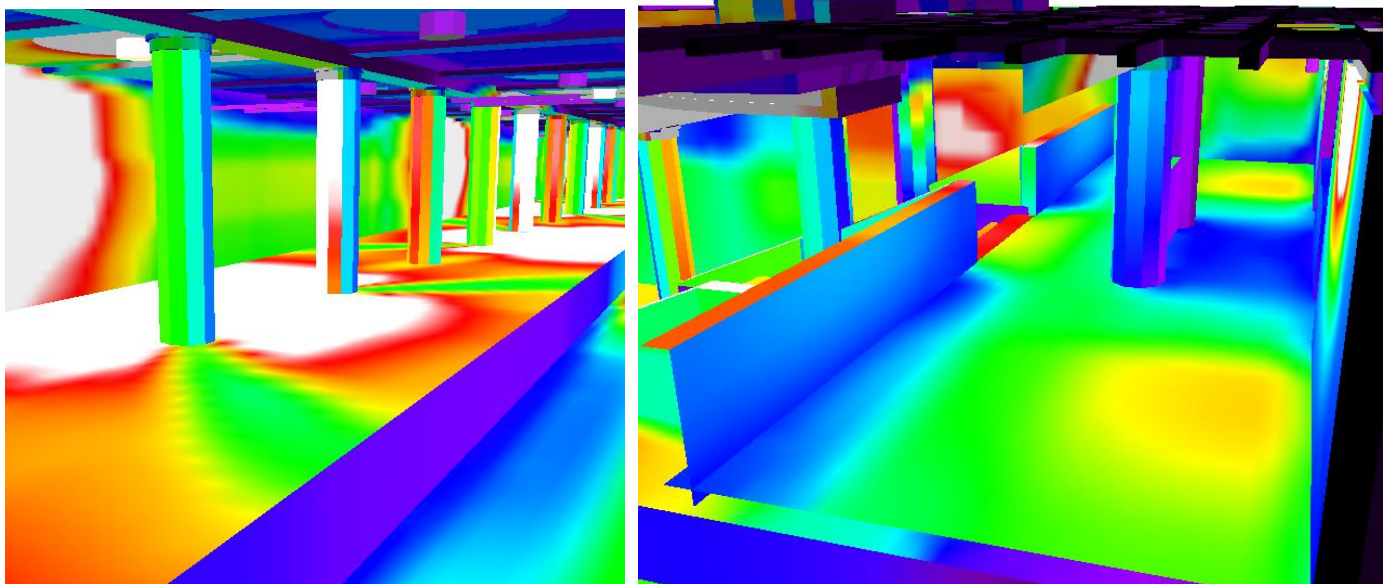
Перечисленные выше преимущества этого варианта освещения являются веским основанием для выбора ОУ №4 в качестве наиболее оптимальной для реконструкции освещения станции метро “Красносельская”.

4.8. Разработка аварийного освещения оптимального варианта реконструкции освещения станции

Специфика метрополитена как транспортного объекта, в котором сосредоточены большие потоки людей в условиях полного отсутствия естественного света накладывает особые требования на освещение станции в случае аварийной ситуации, иными словами на аварийное или эвакуационное освещение. Согласно современным отраслевым нормам освещения метро освещенность в пассажирских помещениях и тоннелях должна составлять 5% уровня, нормируемого для рабочего освещения, но не менее 2 лк в пассажирских помещениях и 0,5 лк в тоннелях [15]. В табл. 26 представлены нормируемые значения освещенности всех зон станции в пересчете в люксы в аварийном режиме.

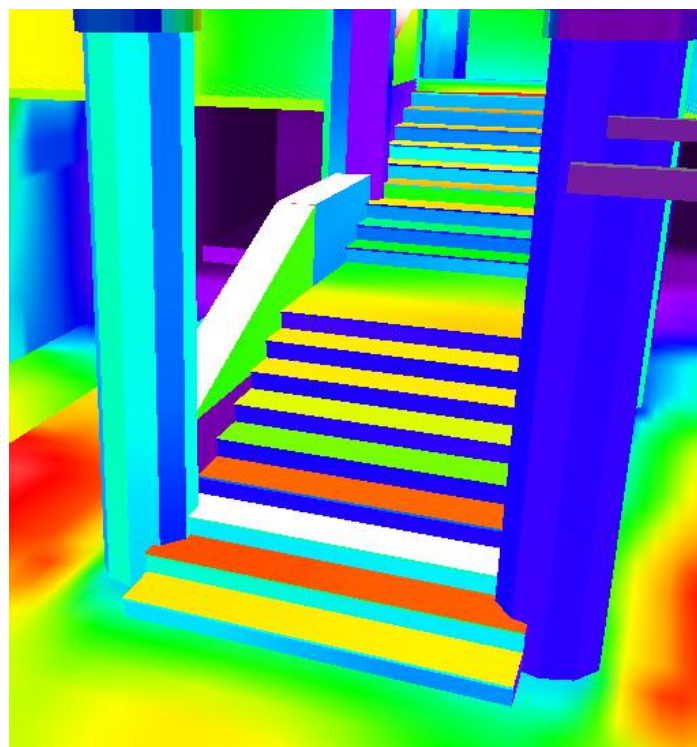
Зона	Платформенные залы	Переходы между станциями	Гребенки эскалаторов и лестничные марши
Плоскость нормирования	поверхность пола	поверхность пола	уровень ступени
Нормируемое минимальное значение горизонтальной освещенности в рабочем режиме, лк	200	100	100
Нормируемое минимальное значение горизонтальной освещенности в аварийном режиме, лк	10	5	5
Расчетные значения минимальной горизонтальной освещенности в аварийном режиме, лк	15	11	7,5

Рис. 54 и табл. 26 показывают, что в аварийном режиме осветительная установка № 4 создает необходимую горизонтальную освещенность на уровне пола во всех зонах станции согласно отраслевым нормам метро. Завышение освещенности в данном случае не является критичным, а напротив, обеспечивает лучшую видимость объектов на станции, что способствует уменьшению чувства страха у пассажиров в аварийной ситуации.



а)

б)



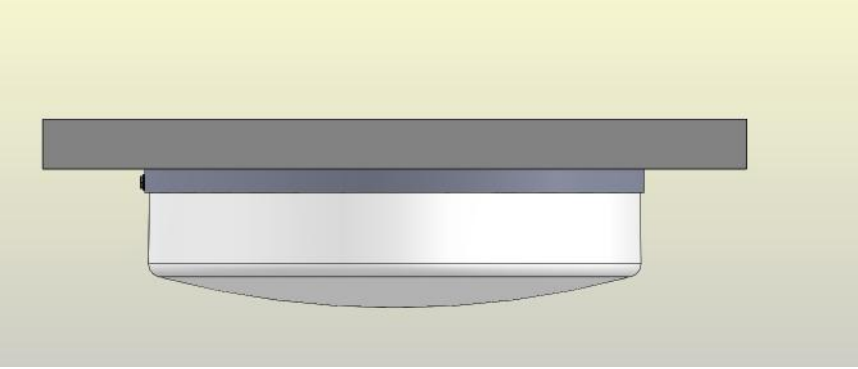
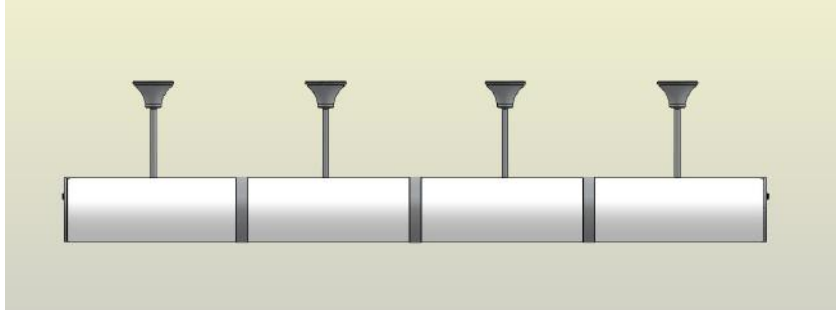
в)

Рис. 54 Результаты расчета аварийного освещения выбранного варианта реконструкции освещения станции метро “Красносельская”: а) платформенный зал, б) зона перехода, в) лестничный марш.

5. Воссоздание исторических световых приборов с современными источниками света, обеспечивающими требования, предъявляемые к объектам культурного наследия и комфортной световой среде

В этом разделе будет подробно описан конструктив четырех световых приборов, используемых для реконструкции освещения. Как уже говорилось прежде в ходе реконструкции необходимо воссоздать исторические световые приборы 30-х годов, т. е. внешний вид и форма новых светильников должны полностью соответствовать историческим. В табл. 27 представлены эскизы исторических световых приборов, а также фотографии плафона зоны перехода и светового короба для декоративной подсветки лестничного марша.

Таблица 27

№	Наименование светильника	Эскиз светильника
1	Плафон D=720 мм	
2	Цилиндр подвесной	

3	Светильник для освещения зоны перехода	
4	Световой короб для подсветки потолка и колонн зоны перехода	

Подробное описание конструктивных особенностей каждого из этих световых приборов дано в параграфах 5.1 - 5.4.

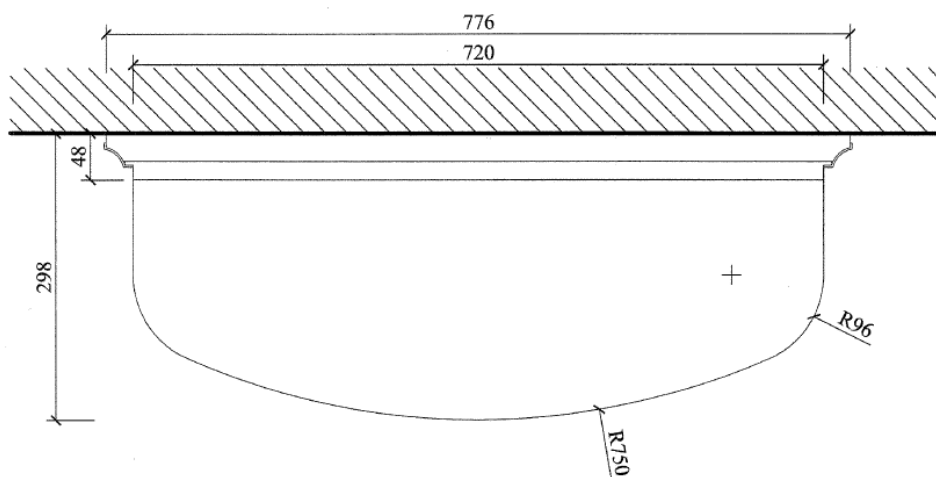
5.1. Конструктивные особенности плафона, используемого для освещения платформенного зала станции

Как уже было описано ранее, такие плафоны в 1935г. были установлены в круглые кессоны и были фактически основными световыми приборами, освещавшими платформенный зал. Всего в первой осветительной установке станции “Красносельская” использовались 50 шт. подобных плафонов. На рис. 55 изображен фрагмент фотографии 1935г., на котором изображен круглый кессон, освещенный таким светильником.

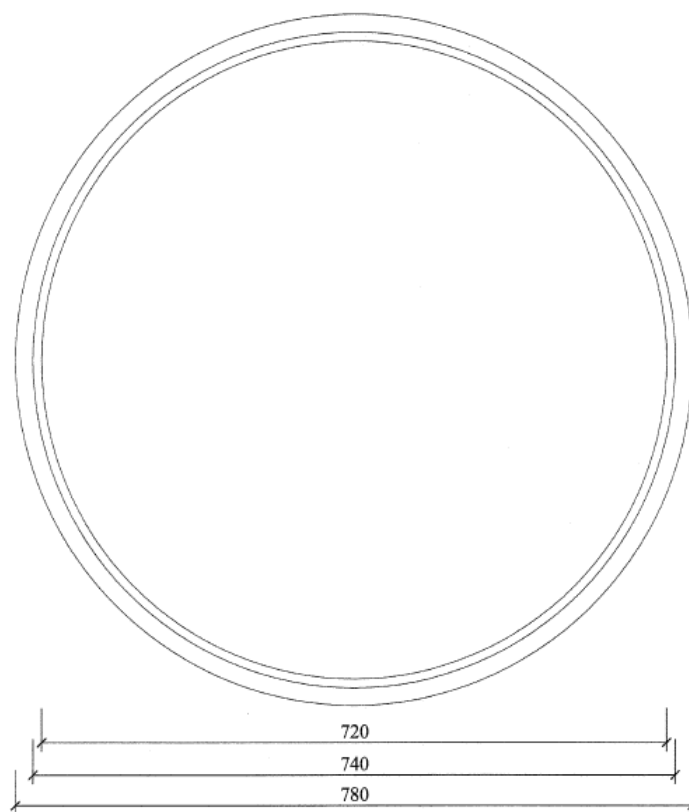
На рис. 56 приведены точные чертежи светильников такого типа, выполненные по эскизам 30-х годов.



Рис. 55. Фрагмент фотографии 1935г. с круглым плафоном, освещающим платформенный зал.



a)



б)

Рис. 56. Чертежи круглого плафона, освещающего платформенный зал: а) вид слева, б) вид сверху.

Как уже говорилось ранее источником света для этого плафона будет выступать светодиодный модуль в виде цилиндра значительная часть общего потока которого исходит от светодиодов Cree XR-L, расположенных на образующей поверхности цилиндра (93%, 23 856 лм), при этом оставшиеся 7% (1350 лм) излучают СД Cree JK3030 3-V, установленные на основание цилиндрического модуля (рис. 57). Поверхность и полость цилиндра в этом случае выполняет функции радиатора для отвода конвекционным потоком избыточного тепла, генерируемого светодиодами, суммарная площадь поверхности которого составляет 4355 см². При этом в полости цилиндра остается место для установки источника питания. Схема светильника представлена на рис. 58. Основные электрические и светотехнические характеристики используемых светодиодов описаны в табл. 28.

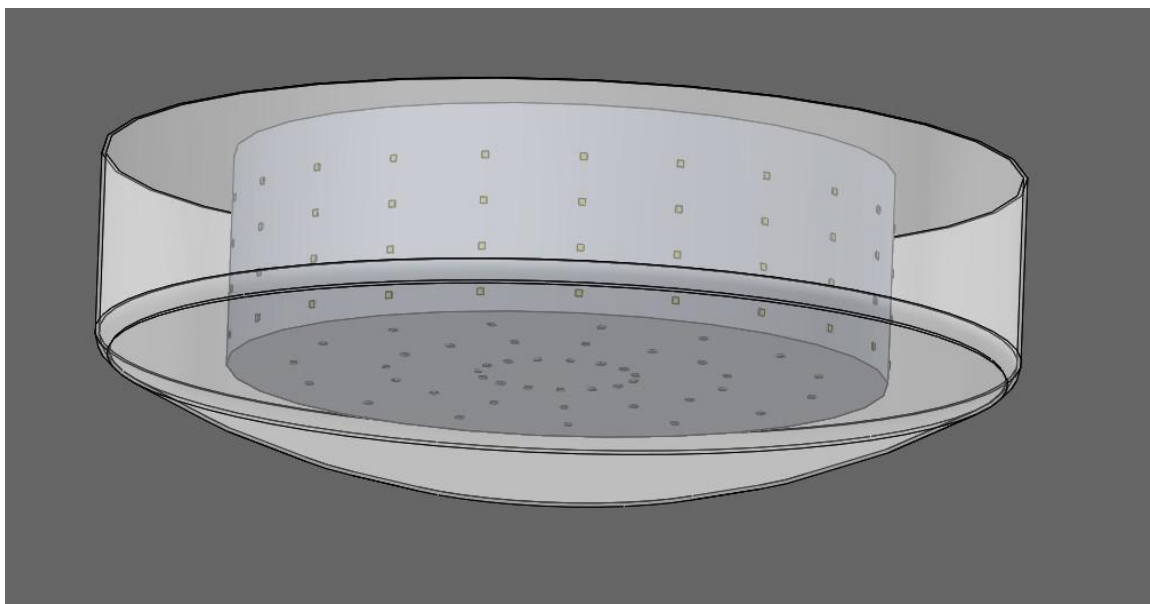


Рис. 57. Модель круглого плафона платформенного зала.

Таблица 28

Модель СД	Cree XP-L kit E7	Cree JK3030 3-V
Ток	750 мА	75 мА
Световой поток	284 лм	30 лм
Падение напряжения на светодиоде	2,87 В	2,77 В
Мощность одного СД	2,2 Вт	0,2 Вт
Световая отдача	129 лм/Вт	150 лм/Вт
Цветовая температура	3000К	3000К
CRI	90	90
Количество штук	84 шт.	45 шт.

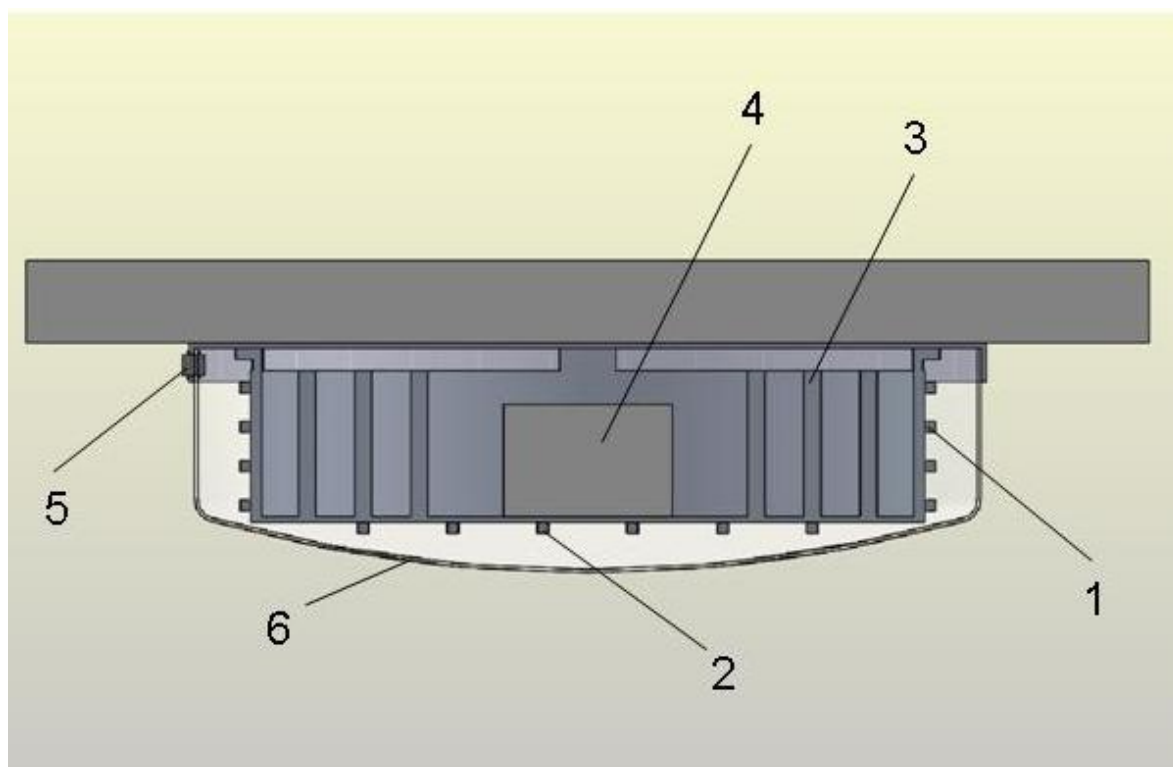


Рис. 58. Схема плафона (сечение вертикально-проецирующей плоскостью), где 1 – светодиоды Cree XP-L, 2 – светодиоды Cree JK3030 3-V, 3 – радиатор для отвода тепла, 4 – источник питания светодиодов, 5 – гидрофобный фильтр, 6 – молочный рассеиватель.

5.2. Конструктивные особенности подвесного цилиндрического светильника, используемого для освещения платформенного зала станции

В случае с подвесными цилиндрическими светильниками, чертежи которых представлены на рис. 59, для выявления квадратных кессонов и уменьшения UGR также необходимо было увеличение светового потока светильника в верхнюю полусферу и уменьшение в нижнюю (рис. 45), что легко достигается с помощью линейных светодиодных плат с использованием светодиодов Cree JK3030 3-V, при этом поток от одного подвесного светильника в верхнюю полусферу составляет 2000 лм, а в нижнюю 1600 лм. Для этого в корпус светильника вставляется алюминиевая конструкция в виде ромба (рис. 60), стороны и полость которого, аналогично поверхностям цилиндрического модуля, описанного ранее, представляют собой радиатор для отвода тепла с площадью поверхности 1220 см². При этом во внутренней полости конструкции монтируется источник стабилизированного питания светодиодов.

Как показано на схеме светильника (рис. 61) на сторонах ромба размещаются линейные платы со светодиодами, причем на верхних платах напаяны 68 шт., а на нижних – 54 шт. Основные электрические и светотехнические характеристики используемых светодиодов представлены в табл. 29.

Всего в проекте будет использовано 24 шт. таких светильников.

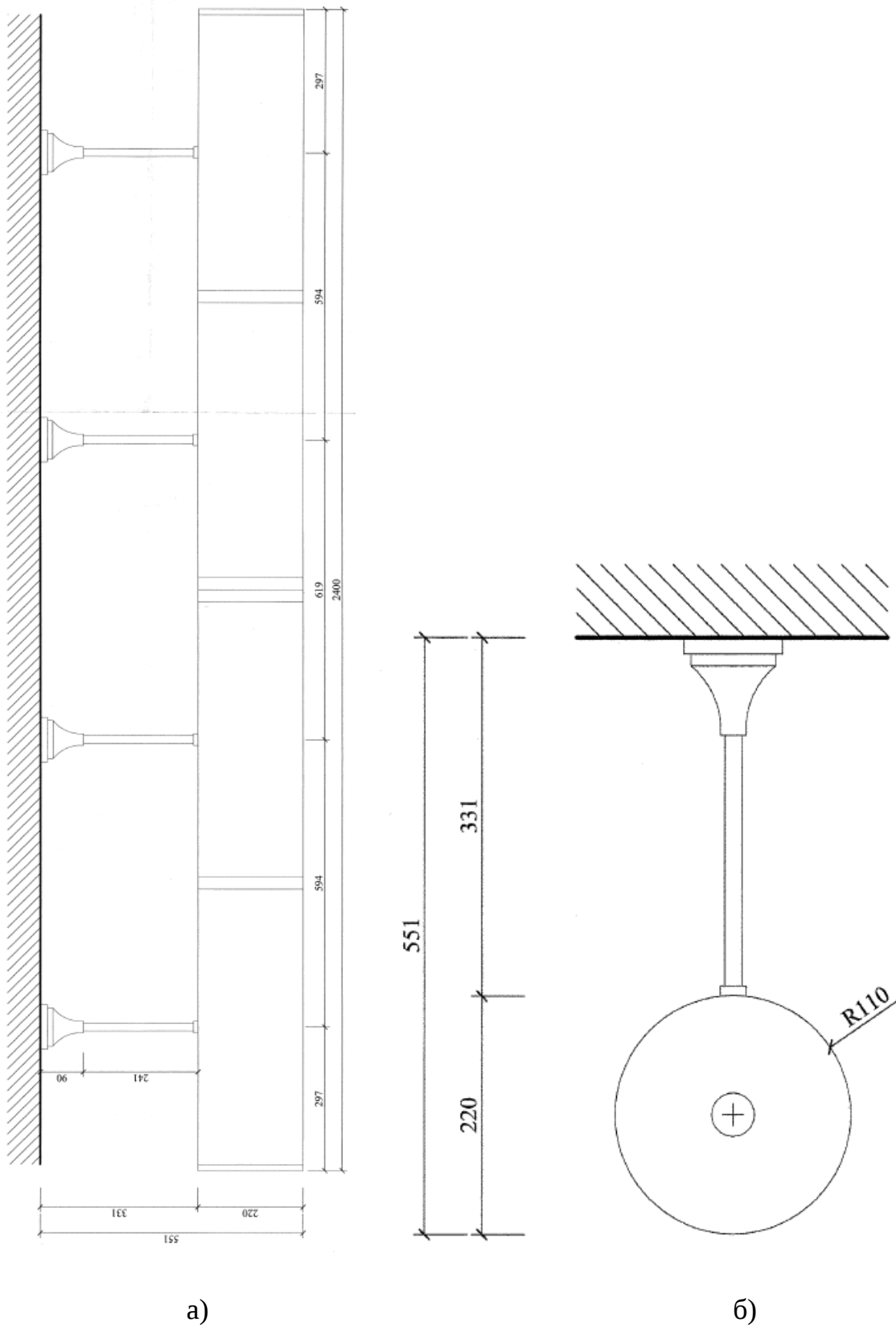


Рис. 59. Чертежи подвесного цилиндрического светильника, освещающего платформенный зал: а) вид переди, б) вид слева.

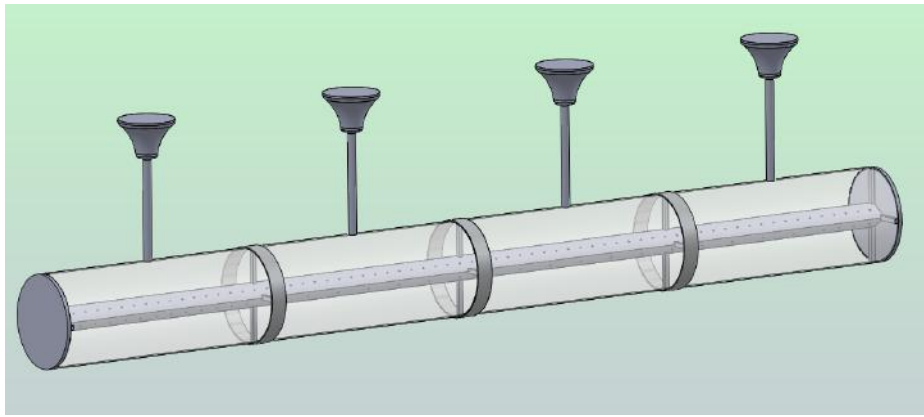


Рис. 60. Модель подвесного цилиндрического светильника платформенного зала.

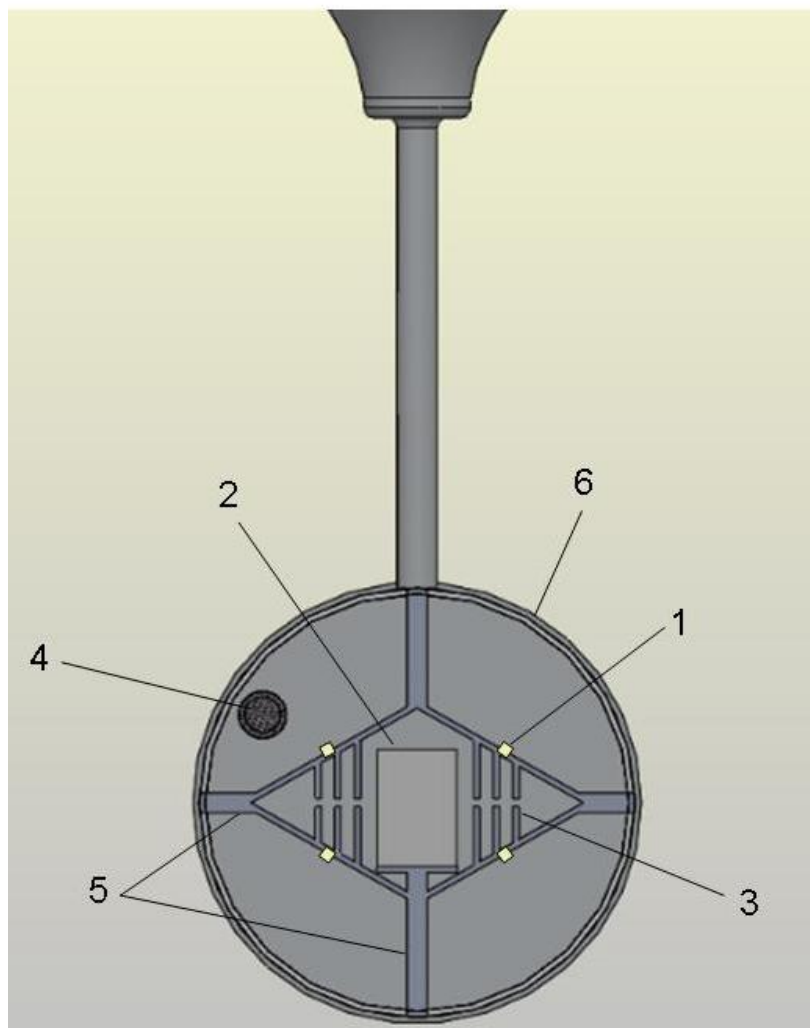


Рис 61. Схема светильника (сечение вертикально-проецирующей плоскостью), где 1 –светодиоды Cree JK3030 3-V, 2 – источник питания светодиодов, 3 - радиатор для отвода тепла, 4 – гидрофобный фильтр, 5 – держатели, 6 – молочный рассеиватель.

Таблица 29

Модель	Ток	Световой поток	Падение напряжения на светодиоде	Мощность одного светодиода	Световая отдача	Цветовая температура	CRI	Количество штук
Cree JK3030 3-V	175 мА	62 лм	2,95 В	0,5 Вт	124 лм/Вт	3000К	90	122 шт.

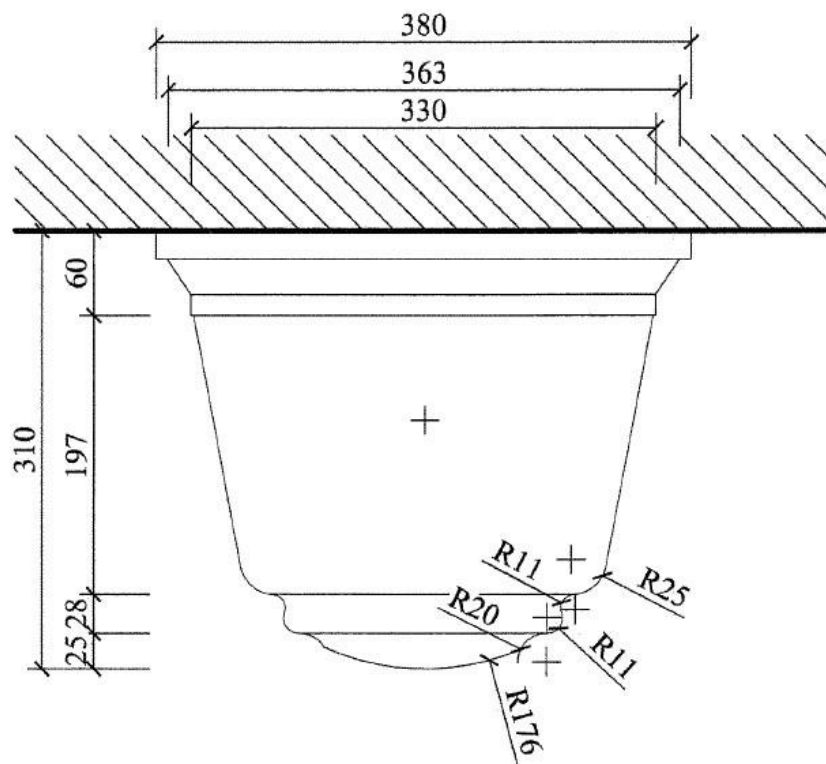
5.3. Конструктивные особенности плафона, используемого для освещения зоны перехода

Предполагается, что зона перехода будет освещена световыми приборами, внешне похожими на современные аварийные светильники (рис. 62), только вместо 150 Вт лампы накаливания в качестве источника света будет использоваться СД модуль со светодиодами Cree JK3030 3-V (рис. 63). Аналогично описанным выше светильникам источник питания и радиатор для отвода тепла площадью 812 см² будут размещены в верхней части светильника как показано на схеме (рис. 64). В табл. 30 представлены основные характеристики используемых светодиодов.

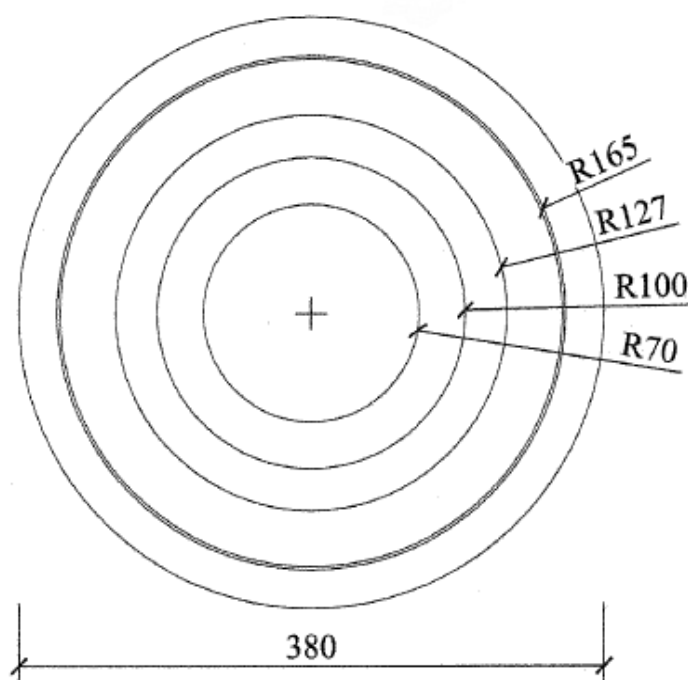
Всего будет использовано 30 шт. таких светильников.

Таблица 30

Модель	Ток	Световой поток	Падение напряжения на светодиоде	Мощность одного светодиода	Световая отдача	Цветовая температура	CRI	Количество штук
Cree JK3030 3-V	350 мА	119 лм	3,2 В	1,12 Вт	106,2 лм/Вт	3000К	90	29 шт.



а)



б)

Рис. 62. Чертежи круглого плафона, освещающего зону перехода: а) вид слева, б) вид сверху.



Рис. 63. Модель плафона зоны перехода.

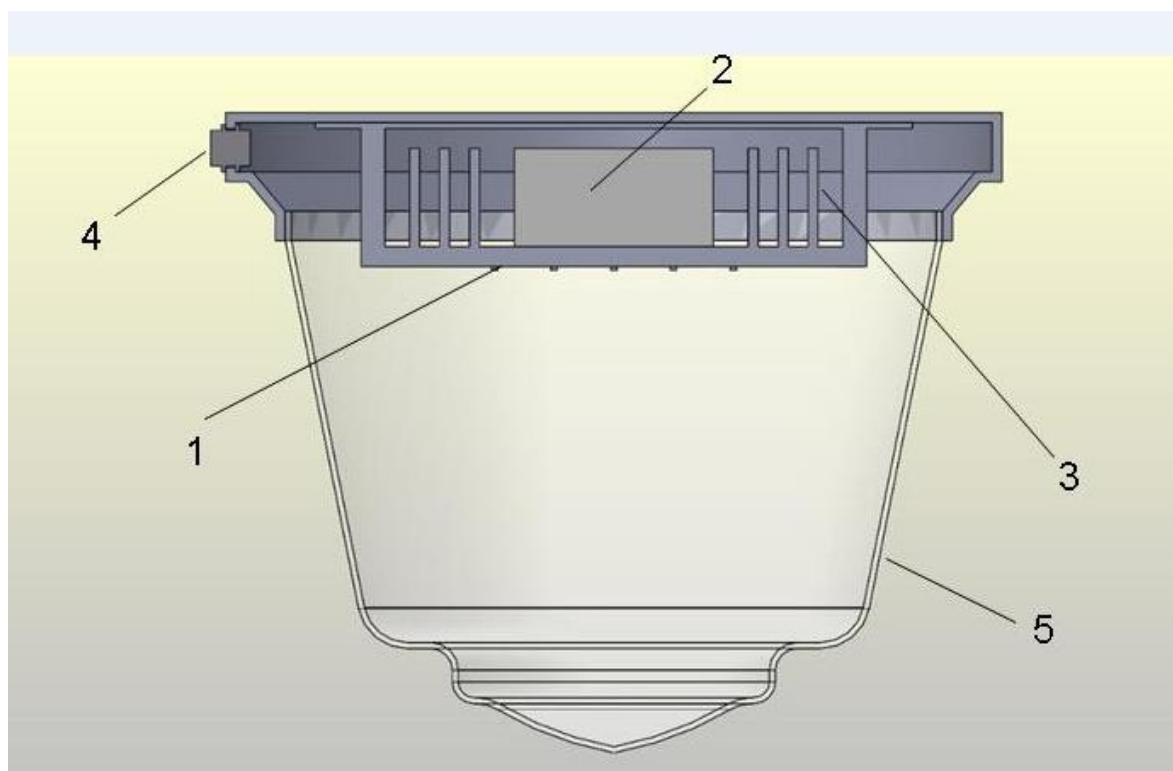


Рис. 64. Схема светильника для освещения зоны перехода (сечение вертикально-проецирующей плоскостью), где 1 –светодиоды Cree JK3030 3-V, 2 – источник питания светодиодов, 3 - радиатор для отвода тепла, 4 – гидрофобный фильтр, 5 – молочный рассеиватель.

5.4. Конструктивные особенности светового короба, используемого подсветки навесных конструкций потолка лестничного марша и капителей колонн

Для возвращения утраченного светового оформления лестничного марша зоны перехода предполагается использовать прием, заложенный в первоначальный проект инженерами ВЭИ в 1935 г. При этом, в проектируемой осветительной установке в верхней части колонны за молочный рассеиватель вместо ламп накаливания будут установлены 6 светодиодных ламп компании “Люценди” [] длиной 281 мм [22], образуя шестиугольник как показано на рис. 65.

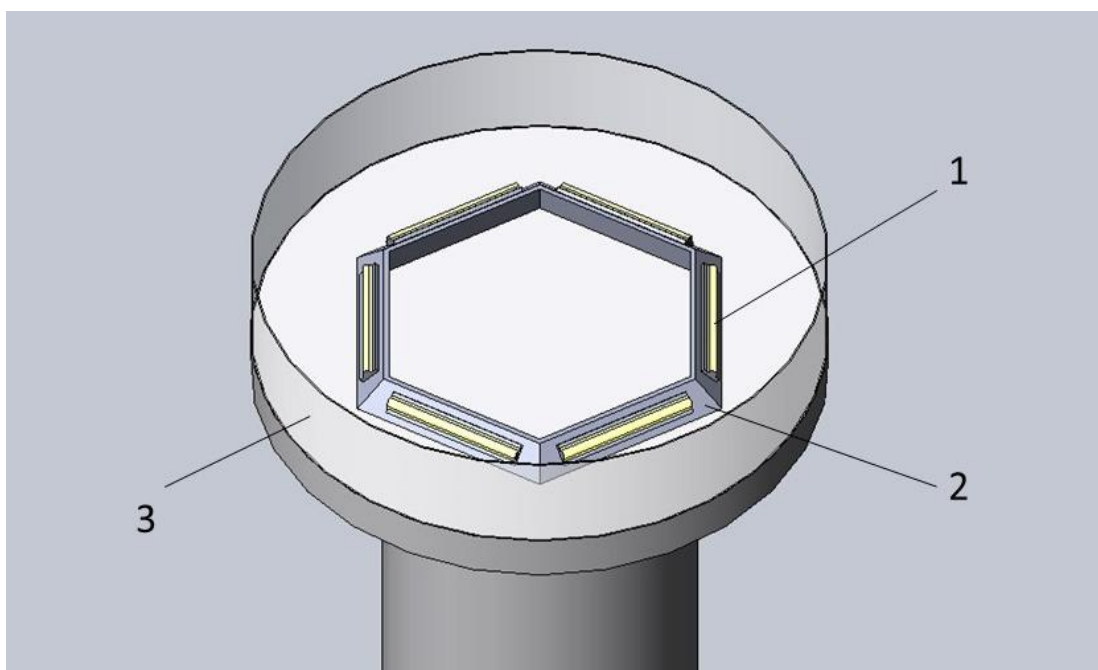


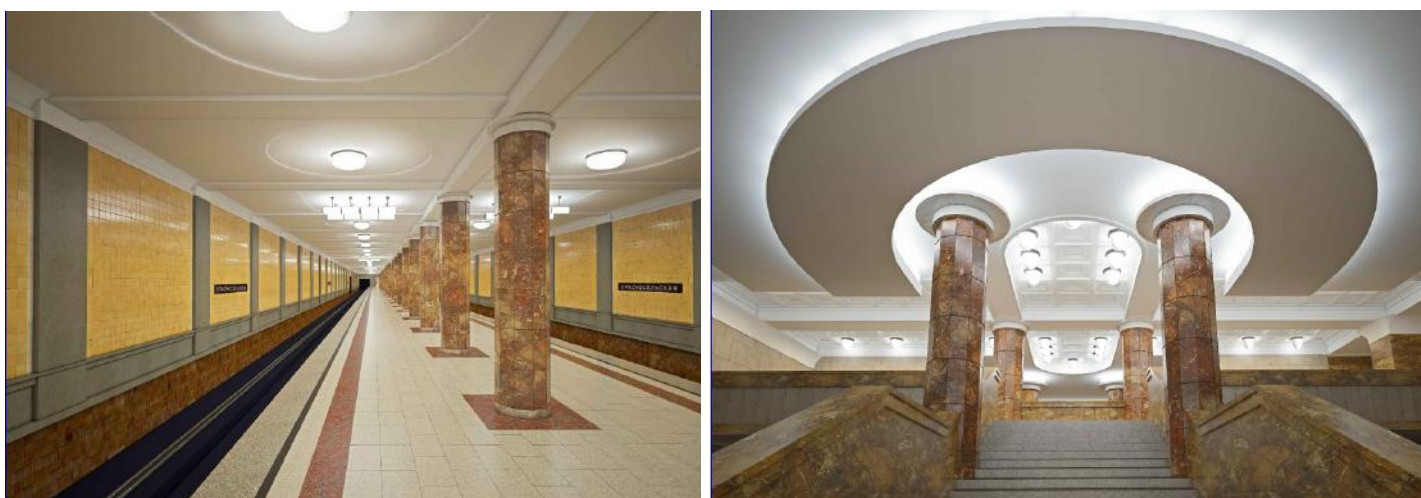
Рис 65. Элементы светового оформления капителей колонн: 1 – светодиодные лампы “Люценди”, 2 – кронштейны, 3 – молочный рассеиватель.

Таким же способом будут установлены лампы для подсветки двух потолочных конструкций. Для освещения конструкции с большим радиусом потребуется использовать лампы в количестве 10 шт., а для кольцеобразной конструкции с меньшим радиусом - 9шт. Основные технические данные о СД линейных лампах представлены в табл. 31

Таблица 31

Источник света	Ток	Световой поток	Мощность лампы	Световая отдача	Цветовая температура	CRI	IP	Количество штук
СД лампа Люменди	700 мА	1600 лм	17 Вт	94 лм/Вт	3000К	90	65	43 шт.

Визуализация итоговой осветительной установки с воссозданными историческими приборами представлена на рис. 66.



а)

б)

Рис. 66. Визуализация станции “Красносельская” с предлагаемой ОУ.

а) Платформенный зал, б) лестничный марш зоны перехода.

Заключение

Основной целью настоящей работы являлось исследование путей реконструкции освещения станции первой очереди ‘Красносельская’ Московского метрополитена, входящую в реестр объектов культурного наследия, для последующего определения наиболее оптимального варианта реконструкции с точки зрения удовлетворения требований современных отраслевых нормативных документов, а также требований, предъявляемых к объектам культурного наследия. В ходе работы были выполнены следующие этапы:

- проработка исторических документов для сбора информации об идеях и замыслах архитекторов и оформителей станции в процессе проектирования освещения станции;
- анализ развития световой среды станции с момента введения ее в эксплуатацию до современного состояния;
- проведение светотехнических расчетов станции с осветительными установками 1935 и 2018 гг. с целью оценки общего состояния освещения станционного пространства и его соответствия современным нормам;
- анализ состояния световой среды станций Московского метрополитена с целью формирования общих требований, предъявляемых к реконструкции освещения станций метро;
- исследование возможных способов реконструкции освещения станции “Красносельская” и выбор наиболее оптимального с точки зрения энергетической эффективности, удовлетворения санитарных норм и требований, предъявляемых к объекту культурного наследия;

- разработка аварийного освещения для выбранного варианта реконструкции;
- разработка конструктива исторических световых приборов с современными источниками света, для обеспечения их долгой надежной работы.

Проведенные исследования и анализы позволили разработать современную энергоэффективную осветительную установку, которая позволит обеспечить безопасное и комфортное освещение для пассажиров и машиниста, а также присвоить станции 'Красносельская' статус объекта культурного наследия.

Список использованных источников

1. Федеральный закон "Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации" от 25.06.2002 N 73-ФЗ (последняя редакция).
2. Санитарные правила эксплуатации метрополитенов . СП 2.5.1337-03 (в редакции Изменений и дополнений №1 от 30.04.2010г., №50).
3. Колли Н.Я. Архитектура московского метро. Архитектура СССР, 1935, №4, М.. Стр.3.
4. Каганович Л. М. О строительстве метрополитена и плане города Москвы. М., Московский рабочий, 1934.
5. По трассе первой очереди Московского метрополитена имени Л.М.
6. Кагановича. Л., гос. Соц.-экон. Изд., 1936.
7. Рыжков К. С. Московский метрополитен. М., Московский рабочий, 1954.
8. Советская архитектура, сб.1, 3, 4. М., 1951, 1954.
9. Журнал Строительство Москвы. М., 1935, №№2-3, стр.43. Арх. Б.С. Виленский, арх. В.А. Ершов, худ. Я.Д. Ромас. Станция «Красносельская».
10. Катцен И. Е. ., Рыжков К.С. Московский метрополитен. М., Акад. архитектуры СССР, 1948.
11. Зиновьев А.Н. Сталинское метро. Исторический путеводитель. М., 2011.

12. Н. В. Горбачев и Е. С. Ратнер. Освещение московского метро//Светотехника. -1935. - №1. – С. 2-11.
13. Официальный сайт компании “Osram” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.osram.com>
14. Официальный сайт ПО “DIALux” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dial.de/de/dialux/>
15. Гуторов М. М. Основы светотехники и источники света: Учеб. пособие для вузов.— 2-е изд., доп. и перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1983
16. СП 32-105-2004 Метрополитены. Свод правил по проектированию и строительству.
17. Руководство по использованию “ТКА-ПКМ”/02 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.tkaspb.ru/produkt/manual/manual_tka-pkm\(02\)_17-01.pdf](http://www.tkaspb.ru/produkt/manual/manual_tka-pkm(02)_17-01.pdf)
18. «Гигиена труда» Учебник для вузов под редакцией Н.Ф. Измерова, В.Ф. Кириллова, Москва, Издательская группа «ГЭОТАР-МЕДИА» 2008г.
19. «Гигиена окружающей среды» под ред. Г.И. Сидоренко АМН СССР – М, Медицина 1985г.
20. Новаковский Л.Г. Логинова В.А Совершенствование нормативов рабочего и аварийного освещения – залог построения оптимальной световой среды в первозданной архитектуре линий Московского метрополитена.
21. Официальный сайт ПО “Solidworks” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.solidworks.com/>
22. Информация о программном пакете “Photopia” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ltioptics.com/en/photopia-general-2017.html>

23. Информация о линейных светильниках компании “Люценди”
[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lucendi.ru/lynus>

Приложение А. Обмерные чертежи станции “Красносельская”