

# 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 Комсомольская

Студент ЭР-04М-16 Гулиев А.Э.  
*группа* *подпись* *фамилия, и., о.*

Научный  
руководитель профессор д.т.н. Будак В.П.  
*должность,* *звание,* *подпись* *фамилия, и., о.*

Консультант директор ЗАО «ФАРОС-АЛЕФ» к.т.н. Новаковский Л.Г.  
*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 Комсомольская

Гулиев А.Э. стр.101 , рис.91, табл. 14

УДК

#### Аннотация

Проведен анализ развития световой среды Московского метрополитена и требований, предъявляемых к объектам культурного наследия. Разработана модель станции. Смоделировано освещение станции 1935 г. и 2018 г. Произведены измерения освещенности. Выявлено, что освещение не удовлетворяет современным нормам. Предложен проект ОУ обеспечивающий соблюдение действующих санитарных норм. Сформулированы требования к модернизированным ОП. Разработаны способы модернизации ОП. Проанализированы особенности освещения майолик и мозаик. Проведены экспериментальные исследования яркости цилиндрической поверхности майолики на станции Комсомольская радиальная. Проведены исследования путей устранения блика. Предложены конструкции осветительных приборов, использование которых решает проблему бликов.

#### The summary

The analysis of Moscow metro lighting environment and culture heritage requirements were carried out. The 3D model of the station was developed. Lighting of the station in 1935 and 2018 was modeled. The light measurements were taken. It was noticed that lighting of the station doesn't meet current requirements. The project of lighting meeting running sanitation regulations was suggested. Modernised light fixtures requirements were formulated. The methods of light fixtures modernizations were developed. Special aspects of lighting maiolica and mosaic were analysed. Experimental research of maiolica cylindrical surface luminance at Moscow metro station "Komsomolskaya" was conducted. The ways of reducing high lights research was conducted. The design of light fixtures able to solve the high light problem was suggested.

# НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«МЭИ»

Институт ИРЭ (ЭТФ) Кафедра Светотехники

Направление Электроника и нанoeлектроника 11.04.04

## ЗАДАНИЕ НА МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ

по программе подготовки магистров Теоретическая и прикладная  
светотехника

Тема Реконструкция освещения станции Комсомольская

Время выполнения работы с 01.10.2017 по 20.06.2018 20 18 г.

Студент Гулиев А.Э. ЭР-04М-16  
*Фамилия, и., о. группа подпись*

Научный  
руководитель профессор, д.т.н. Будаk В.П.  
*должность, звание, фамилия, и., о.*

Консультант директор ЗАО «ФАРОС-АЛЕФ» к.т.н. Новаковский Л.Г.  
*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 «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

## 1.Обоснование выбора темы диссертационной работы

Московский метрополитен одновременно является неотъемлемой частью городской инфраструктуры и одной из главных московских достопримечательностей. Освещение на многих станциях метро не только не соответствует санитарным нормам, но и искажает первоначальный образ, задуманный архитектором. В связи с этим становится актуальной модернизация исторических световых приборов светодиодными источниками света таким образом, чтобы выполнялись все санитарные нормы, и при этом исторический облик станции оставался неизменным.

---

---

---

Научный руководитель Будак В.П. \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

Студент Гулиев А.Э \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

## 2.Консультации по разделу

Анализ развития световой среды Московского метрополитена \_\_\_\_\_

Анализ современного состояния и формулирование требований к

реконструкции освещения и воссозданию световых приборов,

обеспечивающих современные нормативы к рабочему и аварийному

освещению \_\_\_\_\_

Воссоздание световых приборов с современными источниками света,

обеспечивающими требования, предъявляемые к объектам «культурного

наследия» и комфортной световой среде \_\_\_\_\_

Исследование особенностей освещения майолики Лансере и разработка

необходимого оборудования \_\_\_\_\_

Подпись консультанта \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

## 3.Консультации по разделу

Подпись консультанта \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

#### 4. План работы над магистерской диссертацией

№ п/п	Содержание разделов	Срок выпол- нения	Трудоём- кость в %
<b>I.</b>	<p align="center"><b>Теоретическая часть</b></p> <p>Изучение истории, конструкции и состояния станции</p> <p>Анализ развития световой среды Московского метрополитена</p> <p>Исследование особенностей освещения майолики</p> <p>Разработка принципов модернизации осветительных приборов</p>	<p>01.10.17 - 31.10.17</p> <p>01.11.17 - 15.11.17</p> <p>15.11.17 - 01.01.18</p> <p>01.01.18- 15.01.18</p>	<p>5%</p> <p>5%</p> <p>15%</p> <p>5%</p>
<b>II.</b>	<p align="center"><b>Экспериментальная часть</b></p> <p>Проведение измерений освещенности на станции</p> <p>Проведение экспериментальных исследований яркости цилиндрической поверхности майолики</p> <p>Обработка результатов</p>	<p>16.01.18- 17.01.18</p> <p>18.01.18- 19.01.18</p> <p>20.01.18- 31.01.18</p>	<p>5%</p> <p>5%</p> <p>5%</p>
<b>III.</b>	<p align="center"><b>Расчетная часть</b></p> <p>Разработка модели</p> <p>Моделирование освещения станции</p>	<p>01.02.18 - 20.02.18</p> <p>21.02.18 - 15.03.18</p>	<p>10%</p> <p>15%</p>
<b>IV.</b>	<p align="center"><b>Публикации</b></p> <p>Написание статьи в журнал «Светотехника» - «Усовершенствование освещения майолики на станции Комсомольская - радиальная»</p>	<p>15.03.18 - 15.05.18</p>	<p>15%</p>
<b>V.</b>	<p align="center">Оформление диссертации</p>	<p>16.05.18-20.06.18</p>	<p>15%</p>

## 5. Рекомендуемая литература

1. Н.В. Горбачев, Е.С. Ратнер «Освещение московского метро».

Светотехника №1, 1935г. с.2...11

2. Новаковский Л.Г. «Освещение подвижного состава – ключевая задача формирования световой среды метрополитена». Светотехника №4. 2011г

3. Ж-П. Мирас, Л.Г. Новаковский, М.Фонтуанон «Освещение «Моны лизы» новые световые решения. Светотехника №5, 2005г.

## 6. Краткие сведения о студенте:

Домашний адрес г. Москва ул. Краснодарская д.57/2 кв. 284

Телефон служебный \_\_\_\_\_ домашний +7-916-087-34-40

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

<b>Введение .....</b>	<b>10</b>
<b>1. Историческая справка .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Анализ развития световой среды Московского метрополитена.....</b>	<b>17</b>
2.1. Световая среда метрополитена – основные принципы формирования и развития.....	17
2.2. Описание конструкции станции.....	27
2.3. Анализ технического состояния станции и состояния световых приборов.....	33
2.4. Расчет освещенности на соответствие современным нормативным и требованиям .....	41
2.4.1. Моделирование освещения станции с источниками света соответствующими первоначальному проекту.....	41
2.4.2. Моделирование станции с источниками света, используемыми в настоящее время.....	47
<b>3. Анализ современного состояния и формулирование требований к реконструкции освещения и воссозданию световых приборов, обеспечивающих современные нормативы к рабочему и аварийному освещению .....</b>	<b>54</b>
3.1. Экспериментальные исследования состояния световой среды .....	54
3.2. Разработка рекомендаций по использованию современных источников света в «исторических» световых приборах .....	56
3.3. Анализ отраслевых норм Московского метрополитена.....	58
3.4. Расчет освещенности на соответствие требованиям проекта с рекомендуемыми источниками света. ....	59
3.5. Расчет аварийного освещения .....	65
<b>4. Воссоздание световых приборов с современными источниками света, обеспечивающими требования, предъявляемые к объектам «культурного наследия» и комфортной световой среде .....</b>	<b>69</b>
4.1. Воссоздание утраченных световых приборов .....	69
4.2. Реконструкция сохранившихся световых приборов.....	74

<b>5. Исследование особенностей освещения майолики Лансере и разработка необходимого оборудования .....</b>	<b>76</b>
5.1. Анализ условий формирования бликов на поверхности майолики ....	76
5.2. Экспериментальные исследования яркости цилиндрической поверхности майолики.....	79
5.3. Исследование путей борьбы с бликами .....	84
5.4. Устранение блика .....	88
5.5. Разработка конструкции светильника для устранения блика.....	90
5.5.1. Первый способ.....	90
5.5.2. Второй способ.....	91
5.5.3. Третий способ .....	92
5.6. Моделирование освещения майолики.....	95
<b>Выводы.....</b>	<b>99</b>
<b>Список используемой литературы .....</b>	<b>100</b>

## Список сокращений

ИС – источник света

КПД - коэффициент полезного действия

ОУ – осветительная установка

СИД – светоизлучающий диод

СМ – светодиодный модуль

Тцв – цветовая температура

Ra – общий индекс цветопередачи

Lmax – максимальная яркость

Lcp – средняя яркость

$\rho$  – коэффициент отражения

$\rho_z$  - коэффициент зеркального отражения

$\tau$  – коэффициент пропускания

$\Phi_v$  – световой поток

IP – степень защиты

UGR – Unified Glare Rating – объединенный показатель дискомфорта

Kп – коэффициент пульсаций светового потока

## Введение

Модернизация освещения станционного пространства первых станций Московского метрополитена, представляющего объекты культурного наследия, является весьма специфической задачей. Основная проблема в данном случае состоит в том, что, спроектирована эта станция в 1933г, т.е. первоначально конструкция световых приборов: люстр, бра, торшеров, платформенных осветителей предусматривала использование в качестве источника света лампы накаливания, которые позже в 1959г. были заменены люминесцентными. При этом учитывая возможности того времени какие-либо ограничения в отношении прямого воздействия излучения этих источников света на зрительный аппарат человека просто отсутствовали. В подавляющем большинстве случаев (кроме использования светодиодов) они отсутствуют и сейчас [1].

Кроме того, несоответствие конструкции люстр и бра, используемым в них источникам света, привело к низкой их эффективности, т.е. малой освещенности на освещаемой ими площади, что наглядно показывает относительно низкий существующий уровень освещенности всех зон станционного пространства: платформа 70 лк, аванзалы – 80лк, балкон – 75лк при современных достаточно низких нормативах в 200лк.

При этом предпринятая модернизация, ставившая целью повышение энергоэффективности очень небрежно можно сказать по-варварски отнеслась к световым приборам, в результате чего ряд из них (люстры платформы, и аванзала) был просто утрачен, некоторые (бра балкона) приобрели неузнаваемый вид.

Не менее важным является, умышленное снижение уровня освещенности платформы колонных станций, обусловленное дискомфортом испытываемым машинистом при въезде из, плохо освещенного автономными

световыми приборами подвижного состава тоннеля (1лк на головке рельса, удаленного от головного вагона на 305м) на платформу станции [2].

Особое место в освещении станционного пространства занимает крайне неудачное освещение северного аванзала, практически исключаящего из-за обилия бликов высокой яркости восприятие одного из главных элементов декора станции - майоликового панно «Проходка тоннеля», выполненного по эскизам Е.Е. Лансере и являющимся, по сути, музейным экспонатом. Не выразительно освещение и других элементах декора станции: бронзированные капители колонн, лепной свод северного аванзала и др.

В результате сложилась ситуация, при которой использование применяемых сегодня основных световых приборов не обеспечивает действующих санитарных норм по освещенности, уровню пульсаций светового потока и уровню создаваемого дискомфорта из-за наличия слепящей блескости, а также использованию источников света с различной цветовой температурой.

Кроме того, используемые световые приборы в подавляющем большинстве не соответствуют историческому внешнему виду и требуют воссоздания первоначального утраченного облика.

Разрешение сформулированных проблем по существу и является целью настоящей работы. Т.е. в результате, необходимо путем минимальных, практически незаметных глазу изменений конструкции световых приборов, обеспечить равные, достаточно высокие характеристики освещенности во всех зонах станционного пространства, исключить негативное влияние параметров излучения на зрительный аппарат человека, восстановить зрительное восприятие художественных особенностей уникальных световых приборов. При этом световые приборы должны быть воссозданы в первозданном историческом облике.

Естественно, что, по вполне объяснимым причинам, наиболее значимой из которых является ограниченное энергопотребление при весьма незначительном КПД традиционных источников света, решение этих задач на протяжении 80 лет, от момента создания Московского метрополитена было практически невозможным.

Однако, появление и бурное развитие в последнее десятилетие мощных светоизлучающих диодов (СИД) позволяет в полной мере решить все эти проблемы.

Необходимо также отметить, что, решая чисто светотехнические задачи, практически попутно обеспечивается снижение потребляемой мощности за счет использования источников света со световой отдачей более 120лм/Вт у светодиодных источников, вместо 60 лм/Вт у люминесцентных ламп. Кроме того, создается возможность перевода сети с напряжением 220В на безопасную и энергоэффективную 48 В-ую, исключая при этом издержки, обусловленные необходимостью использования преобразователя напряжения, при переводе сети в аварийный режим работы.

Понятно, что практическая реализация предлагаемой концепции модернизации освещения при воссоздании исторического облика световых приборов должна осуществляться минимальной номенклатурой максимально унифицированных источников света с учетом особенностей их обслуживания.

## 1. Историческая справка

В 1931 году июньский Пленум ЦК КП (б), обсуждая вопрос о реконструкции московского городского хозяйства, постановил: «Немедленно приступить к подготовительной работе по сооружению метрополитена в Москве как главного средства, разрешающего проблему быстрых и дешевых городских перевозок, с тем, чтобы в 1932 г. уже начать строительство метрополитена». [3]

Работы по проектированию освещения были начаты в ВЭИ осенью 1933 г. по предложению метростроя. В течение 1933 г. Работа заключалась преимущественно в изучении методов освещения метрополитена за границей и проведения предварительных экспериментов по некоторым специальным видам освещения к январю 1934 г. [4]

Линия первой очереди метрополитена была создана, фактически, в течение 1934 года, когда метростроевцы выполнили 85% физического объема основных работ. Во многом работы проводились вручную, техники было мало. В разгар основных работ на Метрострое трудились 70 тысяч человек. Для строительных работ привлекалось множество людей (даже иностранцев), в том числе проводились мобилизации комсомольцев. [5]

Очевидно, главной из станций первой линии задумывалась «Комсомольская», так как она должна была принимать огромные пассажиропотоки с трех столичных вокзалов. Станция расположена на глубине 9 м. под Комсомольской площадью. Ее северный вестибюль предназначен для обслуживания Ярославского и Ленинградского вокзалов, а южный вестибюль связан с Казанским вокзалом. Название станции дано по наименованию Комсомольской площади (бывшей Каланчевской: при строительстве станция имела проектное название «Каланчёвская площадь»).

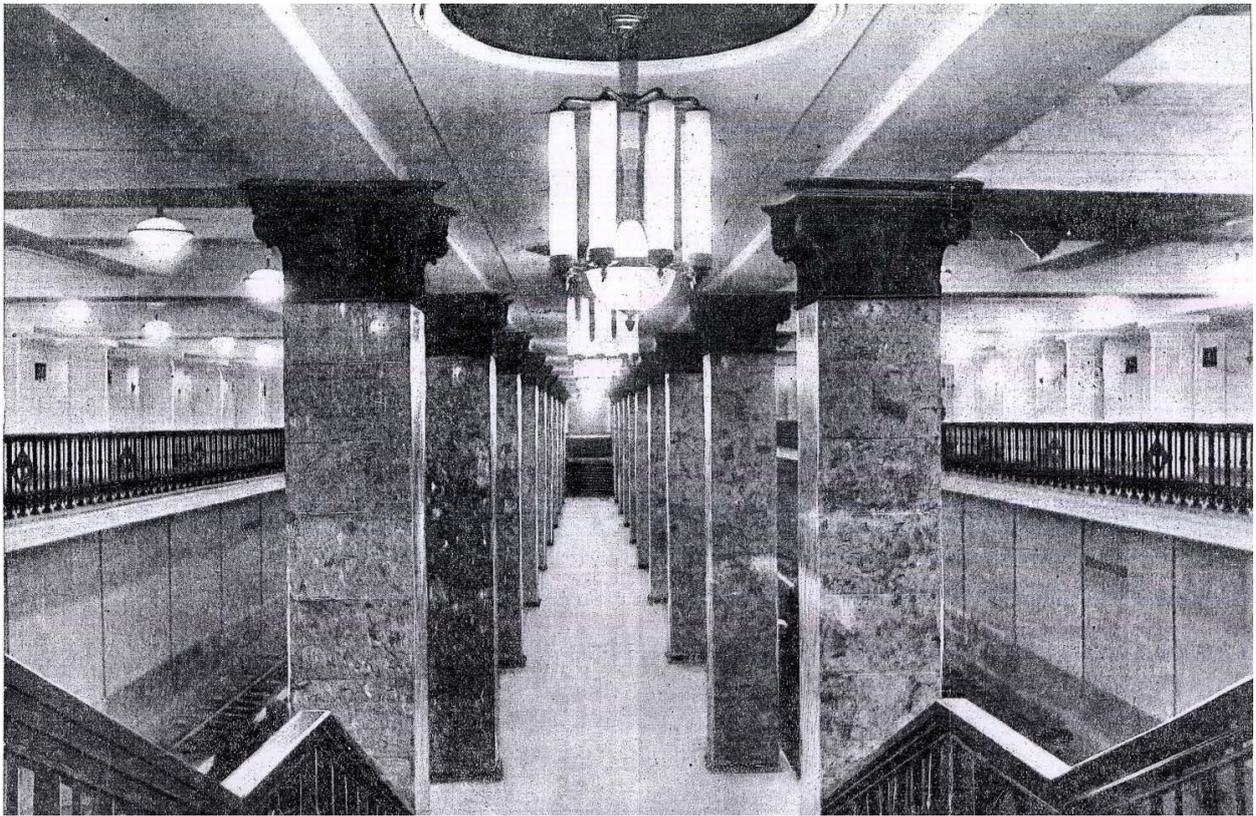


Рис 1. Станция «Комсомольская». Перронный зал, вид с перехода в центре.  
1935 г.

Архитекторы станции Д.Н.Чечулин., А.Ф.Тархов.

Архитекторы вестибюлей А.М.Рухлядев, В.Ф.Кринский.

Архитектурное оформление подземной станции с аванзалами выполнено по проекту Д.Н.Чечулина, он же разработал декоративный вариант оформления.

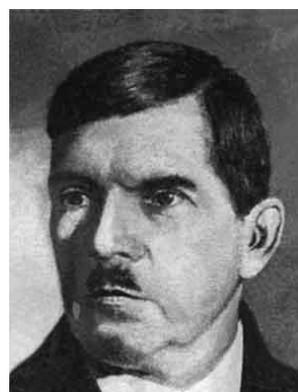


Рис.2 Фотографии архитекторов слева направо, Д.Н.Чечулин, А.Ф.Тарханов,  
А.М.Рухлядев В.Ф.Кринский



Рис. 3. Станция «Комсомольская площадь». Платформенный зал. Проект.

Станция спроектирована по принципу «островной платформы», которая предоставляет центральные места станционных залов пассажирам, а поездам — боковые, что открывает большие возможности для цельного архитектурного решения. [7]

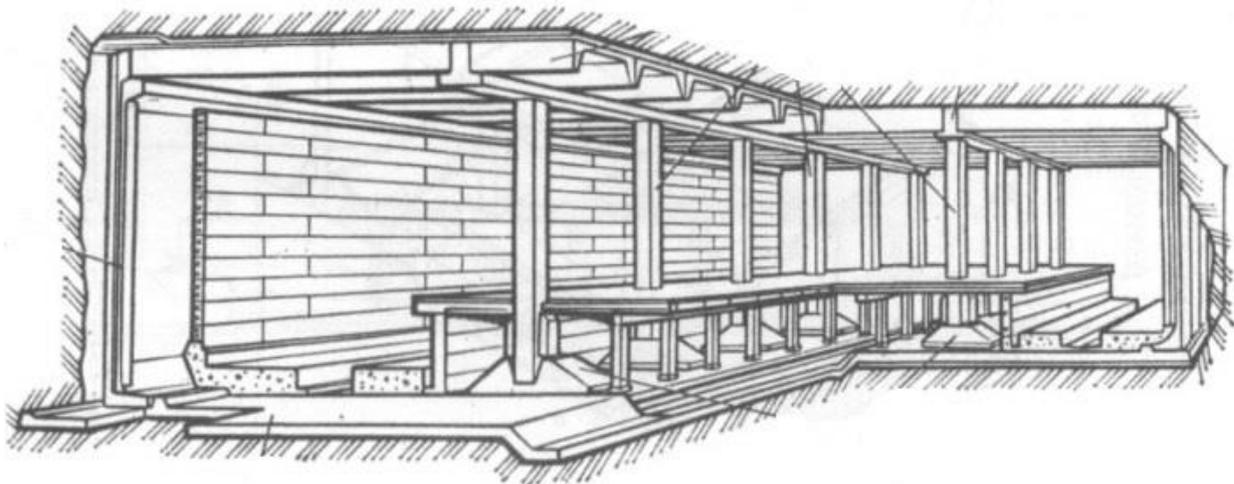


Рис. 4. Колонная станция с платформой островного типа

Как и большинство станций первой линии «Комсомольская» - станция мелкого залегания, что предопределило характер конструктивных приемов, использованных в проекте. Здесь, как и на большинстве таких станций, платформенный зал представляет собой просторное помещение прямоугольной формы однотипной планировки, с железобетонными стенами, колоннами и перекрытием. Оригинальность таких станций, их особенности подчеркиваются, как правило, формой и расположением колонн. [6]

Макет станции «Комсомольская», продемонстрированный на Международной выставке в Париже в 1937 году, вызвал исключительный интерес к московскому метрополитену. 15 марта 1941 года станция была отмечена Сталинской премией 1-ой степени.

Это первая станция, на которую 15 октября 1934 года прибыл пробный поезд метро. Пуск метро 15 мая 1935 г. вылился в народный праздник.

## **2. Анализ развития световой среды Московского метрополитена**

### **2.1. Световая среда метрополитена – основные принципы формирования и развития**

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 сформулировать определение. Световая среда – совокупность свойств окружающего пространства, воспринимаемая человеком через зрительный анализатор. 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, и ее соотношения, формируют световую среду, должно базироваться на освещенности создаваемой подвижным составом [8] на головке рельса.

К сожалению, как показывает анализ совершенствования внешних световых приборов на подвижном составе, их возможности мало менялись с 1935г., в силу чего, как видно из таблицы 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 1

№	Год принятия нормативов	освещенность в различных станционных зонах лк. (неравномерность)				
		тамбур	вестибюль	эскалатор	центральный зал подземной платформы	перрон
1	1935	-	100...125	-	75	50
2	1956	70	100	70	100	75
3	2010	100	200	100	200	200

При этом обследование состояния освещения станционных зон [4,9,10] 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 (см. рис.1);

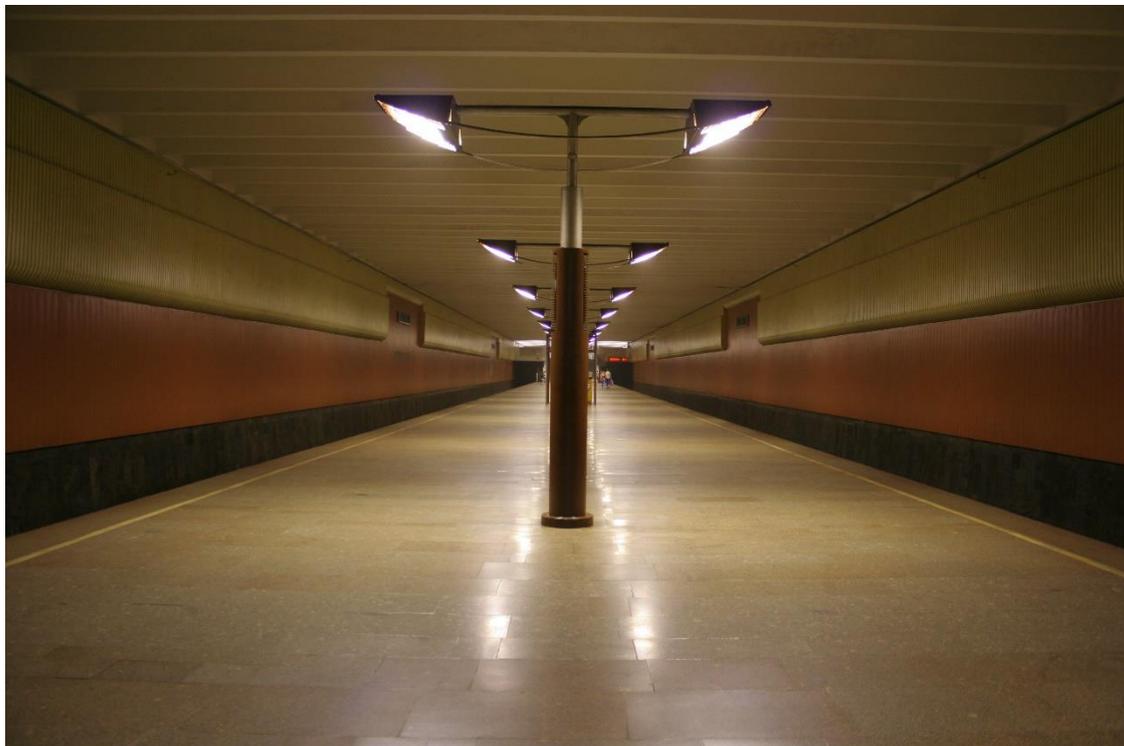


Рис.5.Платформа станции «Волжская».

- высокой степенью неравномерности распределения освещенности в пределах одной станционной зоны (потолки платформ, своды эскалаторных балюстрад см. рис.5);
- значительным перепадом освещенности между сопряженными станционными зонами (перрон и вагон подвижного состава, эскалатор и предэскалаторные зоны вестибюля или платформы, центральный и боковые перроны платформы см. таблицу.3);
- отсутствием специальной подсветки элементов декора см. рис.9;



Рис.6 Свод платформ и эскалаторных балюстрад

- пульсацией светового потока ( $K_{п}$ ) излучаемого источниками света рис.8а - светодиодного  $K_{п}$  - 5%; рис.8б - люминесцентного  $K_{п}$  - 25,5%;
- наличием в поле зрения элементов слепящей блескости см. рис.7;

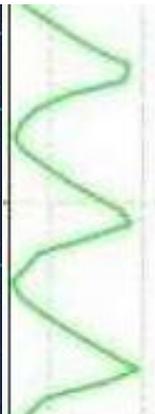
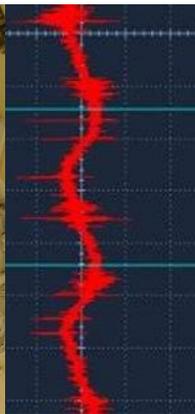


Рис.7

Рис.8а

Рис.8б

Рис.9

- значительным перепадом освещенности на зрительном аппарате пассажира находящемся на эскалаторе (см. рис.10);
- наличием в поле зрения излучения источников света или следа сформированного ими светового пучка с различной коррелированной цветовой температурой (см.рис.11);

- отсутствием возможности управления как уровнем создаваемой на станционном пространстве освещенностью, так и значением коррелированной цветовой температуры  $T_{цв}$ .

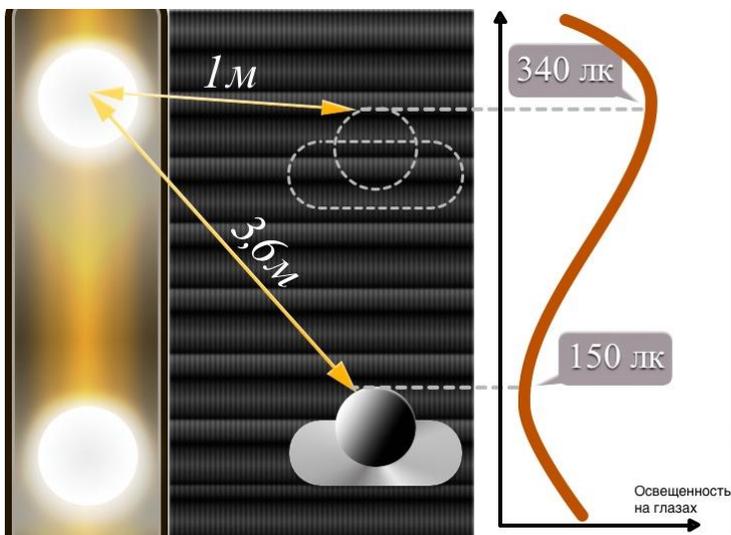


Рис.10



Рис.11

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 [12] показан в таблице 3.

таблица 3

№ п/п	Показатель световой среды станции метрополитена	Характер психофизиологического расстройства
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	<b>раздражение</b>
5	пульсация светового потока излучаемого источниками света	<b>раздражение, усталость, головная боль</b>
6	наличие в поле зрения элементов слепящей блескости	<b>дискомфорт, длительная переадаптация с нарушением функций зрения, нарушение цветового восприятия</b>
7	значительным перепадом освещенности на зрительном аппарате пассажира находящимся на эскалаторе	<b>раздражение, усталость</b>
8	наличие в поле зрения излучения источников света или следа сформированного ими светового пучка с различной коррелированной цветовой температурой	<b>раздражение, усталость</b>
9	отсутствие возможности управления как уровнем создаваемой на станционном пространстве освещенностью, так и значением коррелированной световой температурой	<b>раздражение, угнетенный тонус, снижение работоспособности</b>

Поэтому, неудивительно, что создание качественной и комфортной световой среды метрополитена требует системных и сбалансированных решений, начиная с совершенствования нормативов на эксплуатацию, как станций, так и подвижного состава, и заканчивая требованиями на унификацию используемых световых приборов и источников света.

Понятно, что идеальным может считаться освещение, при котором все элементы системы имеют равный (близкий) уровень освещенности, соответствующий естественному освещению в 500лк, что потребовало бы при искусственном освещении люминесцентными лампами уровня освещенности в 2000лк [13]. Однако по экономическим соображениям, даже при использовании современных светодиодных источников света, этот

уровень освещенности зон станционного пространства не приемлем для нормирования. Тем не менее, учитывая более богатый спектральный состав светодиодных источников света по сравнению с традиционными, достаточным, для комфортного решения зрительной задачи, может считаться уровень освещенности в плоскости пола 200лк, с распределением по станционным зонам, как это показано на рис.12.

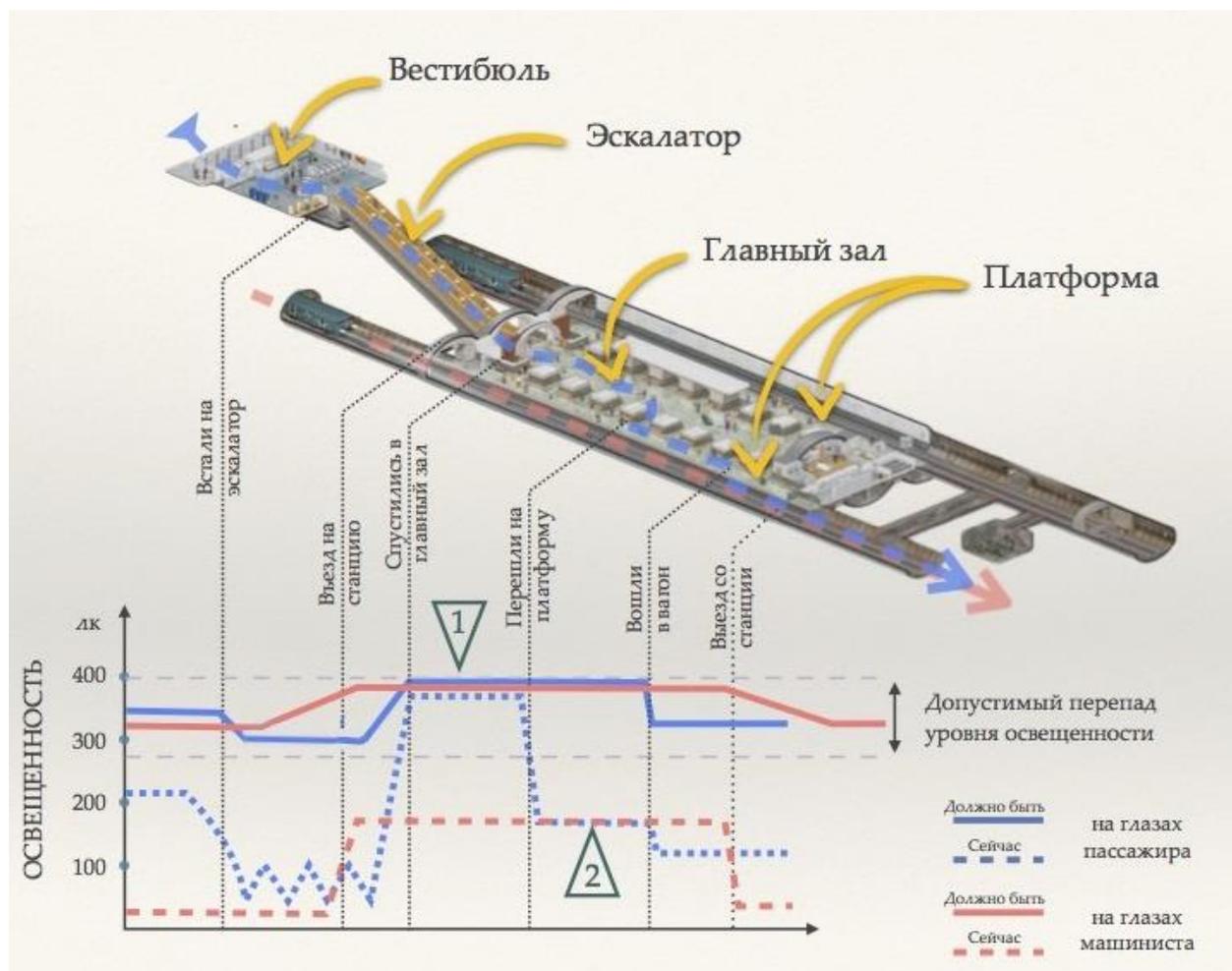


Рис.12.Схема распределения уровней освещенности на станционном пространстве.

Но там, где сосредоточены интересы огромного количества людей, неизбежно возникают противоречия.

Например:

- для пассажиров элементы системы это «Вестибюль – Эскалатор – Центральный зал – Платформа – Вагон»
- для машинистов «Тоннель – Платформа – Тоннель».

Причем, обе системы находятся в противоречии, поскольку частая смена уровней освещенности при въезде из тоннеля на платформу и снова в тоннель приводит к частой переадаптации зрительного аппарата машиниста, уменьшение негативного влияния которой, требует снижения уровня освещенности платформы. В свою очередь низкая освещенность платформы относительно высокого уровня освещенности центрального зала с одной стороны и вагона с другой приводит к дискомфортному состоянию пассажиров.

Поэтому в точке их пересечения – на платформе – пассажирам хотелось бы иметь освещенность не ниже чем в главном зале станции, а машинисту напротив, сопоставимо с уровнем в тоннеле. В противном случае, раздражение возникает у обоих, но у пассажира его причины на общем фоне скрыты и не приводят к катастрофическим последствиям, в то время, как у машиниста следствием частой смены уровней освещенности при въезде из тоннеля на платформу и снова в тоннель, является повышенная утомляемость, потеря внимания с вытекающими для безопасности всех участников этого процесса и как следствие глазные болезни.

Не менее значимая часть психологического комфорта формируется цветовой температурой световой среды, для обеспечения приемлемого уровня которой требуется её адаптация под биологический цикл человека. Реализация этой задачи возможна за счет изменения цветовой температуры излучающих источников света, а именно «нейтральная в сторону холодного (3700<sup>0</sup>К...4200<sup>0</sup>К) – утром, теплая (2800<sup>0</sup>К ... 3200<sup>0</sup>К) – вечером, как это происходит в течение дня.

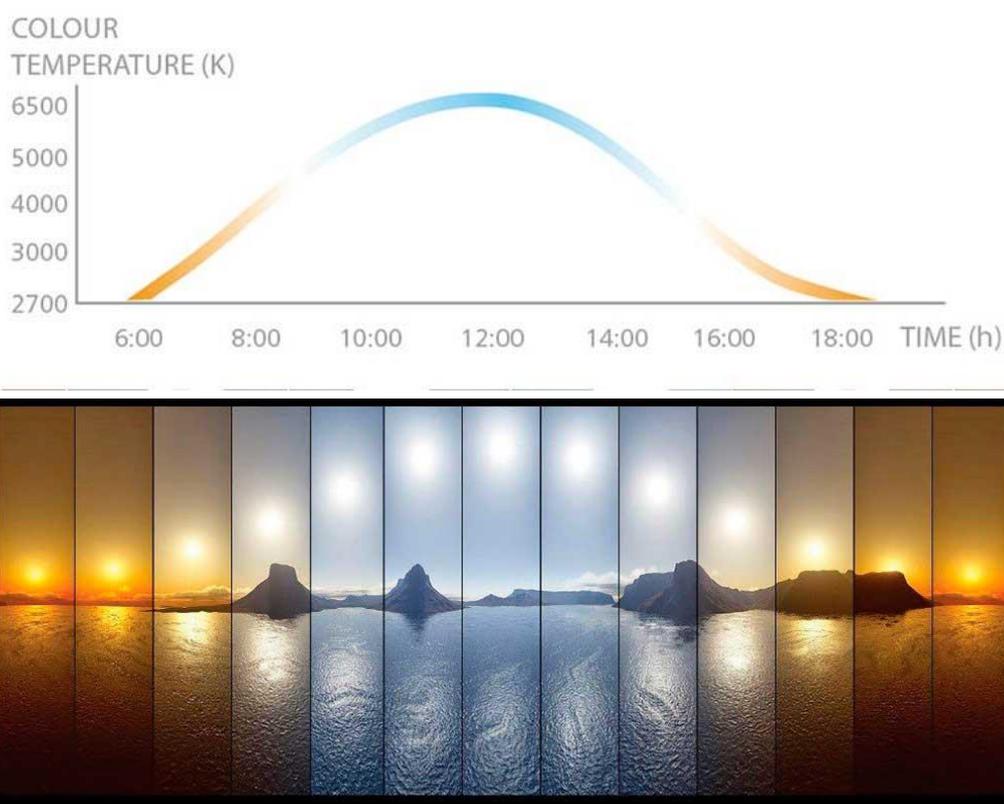


Рис.9.Изменение коррелированной цветовой температуры во времени суток.

Представленные аргументы однозначно указывают на необходимость устранения перечисленных недостатков, что при современном уровне развития источников света принципиально возможно при проектировании новых станций, но эта задача в значительной степени усложняется для станций, входящих в перечень так называемого культурного наследия, в данном случае станции «Комсомольская радиальная». На сегодняшний день это станции Московского метрополитена показанные на схеме 1956г. (см.рис.10), формирование оптимальной световой среды которых должно осуществляться «историческими световыми приборами», т.е. восстановление исторического облика используемых и в значительной мере утраченных световых приборов, заложенных в проектах 30-х...50-х должно сопровождаться приданием им новых свойств, обеспечивающих не только устранение перечисленных недостатков, но и:

- сохранение или даже снижение потребляемой мощности;

- идеального зрительного восприятия (без искажений, световых бликов, заложенных при их создании, цветовых контрастов, визирования в поле зрения источников света) декоративных элементов станций (мозаики, майолики, барельефов, витражей и т.п.), с любой точки соответствующей станционной зоны;
- снижение издержек на обслуживание этих световых приборов.

Как показал анализ, в основе решения этих задач лежит использование в воссозданных исторических световых приборах в качестве источников света светодиодов, которые позволяют 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.



Рис.10 Станции Московского метрополитена, входящие в перечень культурного наследия.

Кроме того, современные светодиодные модули имеют малые габариты, существенно снижающие габариты собственно светового прибора, а поэтому легко маскируемого 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  $2800^{\circ}\text{K} \dots 6000^{\circ}\text{K}$ , что позволяет, в свою очередь, управлять цветовыми контрастами при освещении архитектурного декора, например, мозаики.

В результате следует отметить, что реализация поставленных в разделе задач, позволит за счет устранения отмеченных недостатков сформулировать нормативную базу, обеспечивающую построение совершенной световой среды, а использование оригинальных специально разработанных приемов освещения - вернуться к первоначальному архитектурному облику станций на новом этапе развития техники.

## **2.2. Описание конструкции станции**

«Комсомольская» — колонная трехпролетная станция мелкого заложения. Архитектура станционного зала посвящена теме Комсомола. Длина платформы составляет 154 м. По концам станционного зала расположены две широкие лестницы. К авансалам идут переходы со стороны вестибюлей и два продольных балкона шириной 4 м. Балконы расположены вдоль боковых путевых стен и соединены между собой поперечным мостиком. Мостик с обеих сторон соединен лестницами с самой платформой. Таким образом, лестницы имеются как в торцах станции, так и в центре. Данная система была предназначена для свободы маневрирования пассажиров, так как увеличивала площадь движения людских потоков.

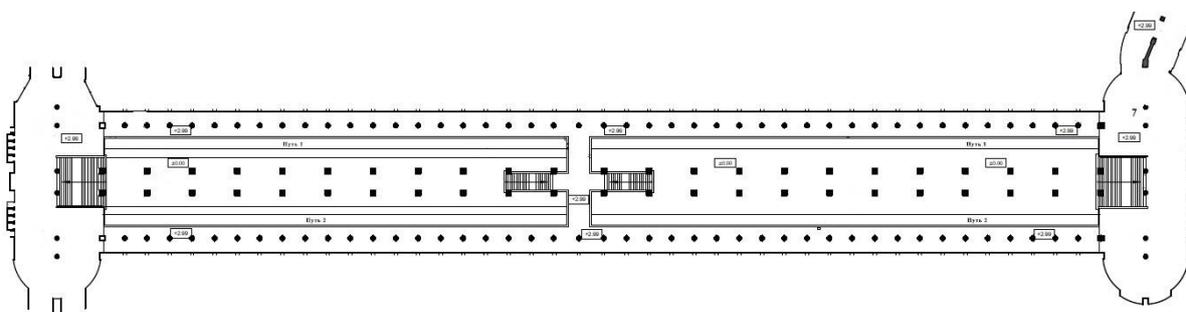


Рис. 11. Схема станции Комсомольская

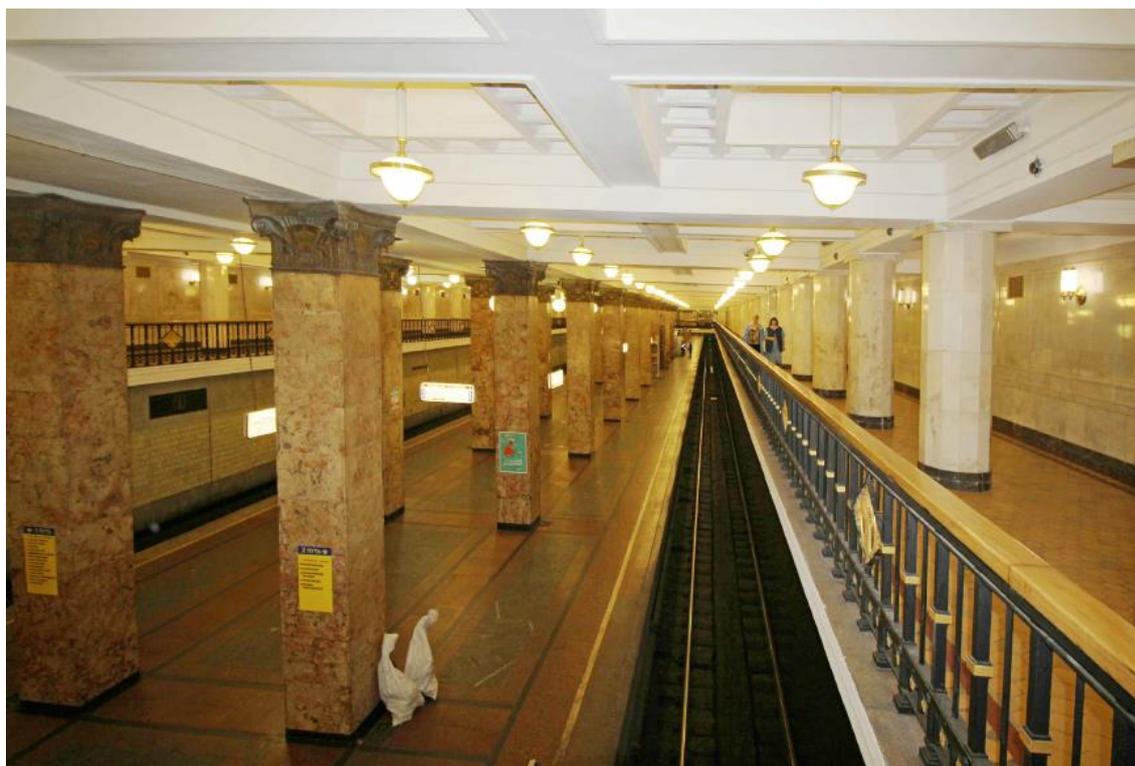
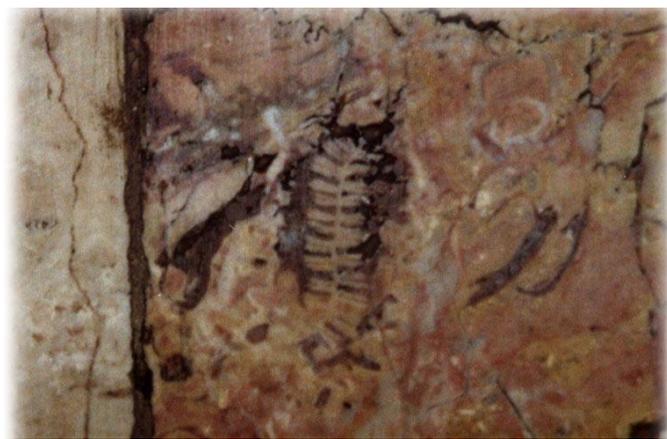


Рис.12. Фото станции Комсомольская

Два ряда квадратных колонн подземной станции (по 23 штуки, шаг колонн — 7 м.) облицованы розовато-желтым крымским мрамором «Чоргунь» ( $\rho=0.4$   $\rho_3=0.02$ ). В облицовке колонн можно встретить фрагменты окаменевших кораллов и моллюсков, относящихся к мезозойской эре.



а)



б)

Рис. 12 а) Бронзовые капители колонн платформенного зала б) Окаменелые останки моллюска в облицовке колонны.

Колонны завершаются бронзированными капителями с эмблемой «КИМ» (Коммунистический интернационал молодежи) в обрамлении пшеничных колосьев. Эмблемы подчеркивают вклад комсомольцев 1930-х гг. в строительство метрополитена.

Для определения светотехнических характеристик применявшихся при облицовке станции материалов специалистами ВЭИ было проведено определение диффузного и зеркального отражения различных образцов полированного мрамора. Испытания показали, что величина зеркального отражения, как и следовало ожидать, не зависит от цвета мрамора, а лишь от обработки его поверхности. Она составляет примерно 5% и подчиняется Френелевским законам отражения.

Величина диффузного отражения составляла от 4 — 6% для много лабрадора и доходила до 35 — 40% у светлых сортов мрамора.

Согласно исследованию сотрудников ВЭИ по описанным на тот момент в литературе ОУ метро наиболее высокая освещенность платформы была указана на станциях мелкого заложения города Сидней (Австралия), где

на станциях мелкого заложения освещенность платформ и вестибюлей была порядка 40-45 лк.

При проектировании освещения московского метрополитена были приняты более высокие значения освещенностей, обусловленные следующими соображениями:

1. Освещение станций должно обеспечить хорошую ориентировку пассажиров в условиях высокой загрузки станций для более четкого и быстрого распределения пассажиро-потоков.
2. Архитектурная отделка станций, содержащая большое количество скульптурных украшений, фресок, картин и пр., а также применение дорогих облицовочных материалов (мрамор, лабрадор и др.) требуют также повышенных освещенностей.

На основании изложенных соображений и проведенного в ВЭИ экспериментального исследования опытных установок различных способов освещения с менявшейся в широких пределах величиной освещенностей были приняты следующие, утвержденные Метростроем, значения:

Платформа - 50 лк, переходы-60 лк, подземные вестибюли - 75 лк, надземные вестибюли- 100 - 125 лк.

Состояние работ по проектированию архитектурного оформления позволило приступить непосредственно к решению задач освещения отдельных станций. Принципы освещения намечались непосредственно с архитектурным отделом Метропроекта. Далее ВЭИ производит основные светотехнические расчеты, устанавливал мощность и размещение отдельных светильников, разрабатывал схематические чертежи светильников с указанием формы, основных габаритов и материалов. Одновременно архитектурный отдел Метропроекта разрабатывал эскизы художественного оформления светильников и находил окончательное решение архитектурного оформления станций с учетом принятого способа освещения.

Рабочие чертежи светильников разрабатывались силами конструкторского бюро завода «Электросвет» и Метропроекта на основе данных ВЭИ и эскизов худ. Л. А. Бродского (Метропроект).

Одной из основных задач, возникших при проектировании освещения станций метрополитена, была задача сообщения каждой станции путем своеобразного светового решения индивидуального, хорошо запоминающегося вида. Если на наземном транспорте зрительный образ станции создается видом окрестностей, то в метро этот фактор отсутствует. Поэтому вследствие типизации станций (одинаковых габаритов и основных конструктивных элементов), необходимость применения на них своеобразных способов освещения, резко отличающихся между собой, делается еще более настоятельной.

Отделке уделялось большое внимание. Художественный рисунок решеток перил обоих балконов отчетливо выделяется на фоне путевых стен. Выразительность станции усиливается тщательностью отделки архитектурных деталей и технического оборудования. В 1939 году стены и колонны балконов были облицованы белым «Прохорово-Баландинским» мрамором ( $\rho=0.67$   $\rho_3=0.05$ )



а)



б)

Рис. 13 а) Рисунок на решетках перил балконов б) Бронзовая капитель колонны

Пол станции выложен серым и красным гранитом ( $\rho=0.2$ ) (первоначально заасфальтированная поверхность заменена на гранит в 1955 году). Пол пешеходных галерей-балконов над путями – метлахской плиткой ( $\rho=0.3$ ). Торцевые стены, обрамляющие лестницы, ведущие в аванзалы, облицованы мраморизованным известняком «Биюк-Янкой» ( $\rho=0.4$   $\rho_3=0.05$ ). Путевые стены облицованы глазурованной керамической плиткой. Одноцветная керамическая плоская плитка, вероятно, высокотемпературного спекания: огнеупорная или тугоплавкая. ( $\rho=0.6$   $\rho_3=0.04$ ). Потолок покрыт белой штукатуркой ( $\rho=0.75$ ).

На станции «Комсомольская» впервые на метрополитене применили в качестве художественных украшений тематические панно из цветной майоликовой плитки. Закругленные части стен северного аванзала облицованы сюжетными панно, выполненными по эскизам Е.Е. Лансере на тему участия комсомола в стройке метро. К сожалению, на станции в материале реализовано только одно панно «Проходка шахты» в северном аванзале, а всего их было запланировано четыре: «Проходка шахты», «Работа в МТС», «Шествие метростроевцев» и «Колхозный труд» – по два панно на каждый аванзал. Панно выполнено на стандартных плитках подглазурованными красками и покрыто слоем прозрачной глазури, которая после обжига придает блеск и яркость цвету. На нем изображен труд метростроевцев при строительстве Первой очереди метро.



Рис. 14. Майолика Е.Е. Лансере в северном аванзале станции метро Комсомольская.

### **2.3. Анализ технического состояния станции и состояния световых приборов**

Светильники и специальные осветительные установки станций и вестибюлей метрополитена используют в качестве основного светотехнического материала молочное стекло.

Низкое качество выпускавшегося в то время заводами фасонного (арматурного) молочного стекла и полное отсутствие налаженного производства листового молочного стекла заставили обратить особое внимание на вопрос производства для метрополитена молочного стекла надлежащего качества. При оценке качества изготовлявшегося стекла главное внимание обращалось не на коэффициент пропускания, знание которого не является достаточным для оценки световых свойств светильников в целом, а на непосредственное определение к. п. д. стекла. Можно показать, что для получения замкнутого светильника с хорошим к. п. д. высокие значения коэффициента пропускания стекла не являются безусловно, необходимыми; достаточным условием в этом случае является малая величина коэффициента поглощения стекла. Последнее было достигнуто как применением целесообразной рецептуры, так и главным образом чистотой шихты и тщательностью работы. Этим и объясняется, что уже первые образцы фасонного стекла показали при испытаниях вполне удовлетворительный (до 80%) для замкнутых светильников к. п. д. [4]

Рассмотрим каждый светильник станции и некоторые декоративные элементы, с которыми связано их расположение.

Центральная часть потолка плоская и украшена круглыми кессонами. В центре каждого кессона находилась люстра сложной формы, с плафонами в виде сферы и восьми светящих цилиндров, сделанных из молочного стекла. Источниками света в такой люстре были софитные лампы и обычные лампы накаливания общей мощностью 800 Вт.

Высота светящего цилиндра люстры составляла 560 мм, возможно это стало проблемой при переходе на газоразрядные источники света, так как стандартная люминесцентная лампа имела длину от 600 мм. Возможно, по этой причине люстры до нашего времени не сохранились, и были заменены на шары из молочного стекла ( $\tau=0,5$ )



а)



б)

Рис. 15 а) Люстра 1935 г. б) Люстра в настоящее время

Боковые части потолка обработаны сложными сгруппированными кессонами. Группировка кессонов следующая: это квадратные группы, состоящие из основного квадрата и маленьких квадратных кессонов, расположенных по его периметру. В центре каждого кессона находится светильник с плафонами из молочного стекла, который светит в верхнюю и нижнюю полусферу, таким образом, нижняя его часть освещает станцию и продольные балконы, а верхняя подсвечивает кессон. В настоящий момент на станции установлены люстры идентичные оригинальным, их технические характеристики приведены в таблице 4.

Необходимо отметить, что при такой конструкции станции и расположении светильников, расстояние от наблюдателя до люстры меняется более чем в 3 раза в зависимости от положения наблюдателя (от 6 м, когда наблюдатель стоит на платформе до 2 м, когда наблюдатель находится на балконе). Это факт, создает большие трудности при проектировании ОУ.

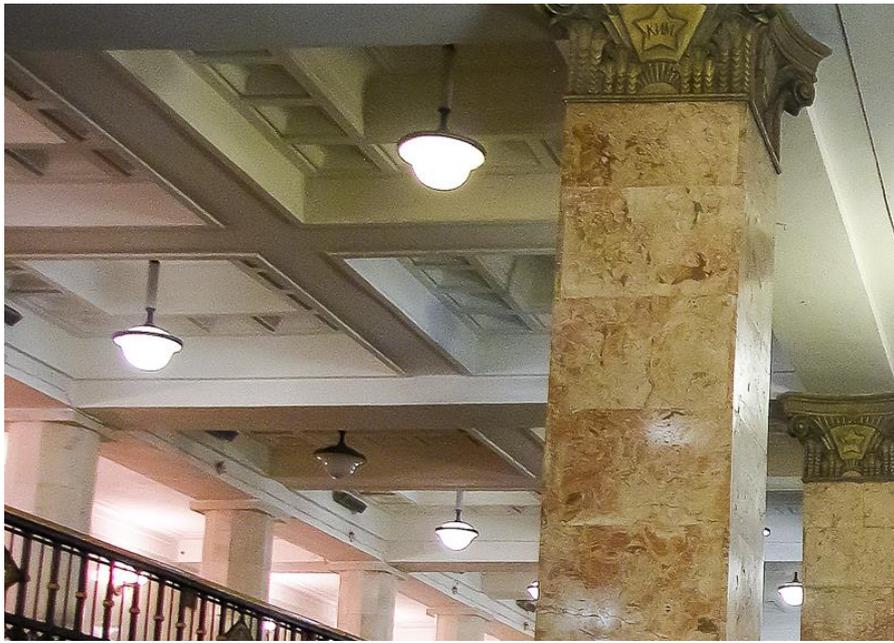
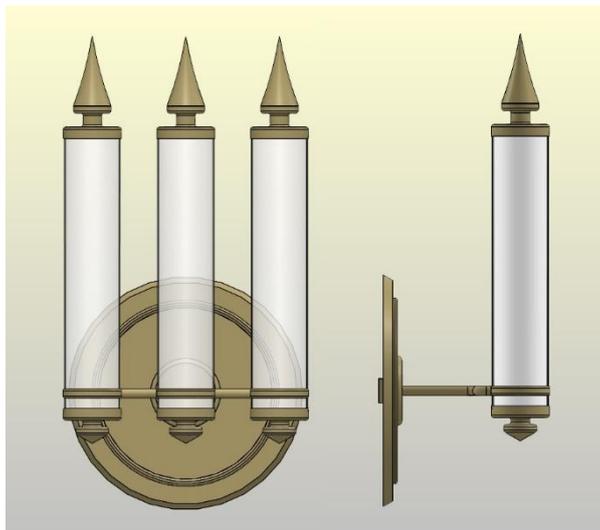


Рис. 16. Расположение люстр в групповых кессонах

Продольные балконы освещаются также бра с цилиндрическими плафонами из молочного стекла). Оригинальные бра состояли из трех цилиндров, и не сохранились до нашего времени. В настоящее время на станции установлены двухрожковые бра (источник света КЛЛ) стилизованные под бра 1935 г.



а)



б)

Рис. 17. Стенной светильник (бра) станции «Комсомольская площадь»  
а) современный, б) по проекту 1935г (в настоящее время утрачен)

Яркий плафон светильника отражается в глянцевой поверхности мрамора и создает блик, который вызывает дискомфорт и портит восприятие станции.



Рис. 18. Блик от бра на стенах балкона

Овальный потолок аванзалов поддерживает ряд центральных колонн. В центре между колоннами крупные квадратные кессоны, а по периметру - более мелкие профилированные кессоны.

В центральных кессонах были установлены светильники с полукруглыми плафонами из молочного стекла (первоначальные светильники в центральных кессонах утрачены; форма их плафонов повторяла нижний плафон светильников в групповых кессонах платформенного зала), а в маленьких кессонах располагались ОП с плафонами в виде шара.

В северном аванзале крайние колонны завершаются своеобразной лепной капителью, расположенной на потолке, расходящейся в виде звезды: перевязанные снопы хлебов и плодов, между которыми расположены серпы с

молотами и звездой над ними. Вокруг лепнины были установлены такие же полукруглые плафоны, как и в центральных кессонах аванзала.



Рис. 19. Полусферические светильники северного аванзала, расположенные вокруг лепного декора колонны.



Рис. 20. Северный аванзал, фото 1935 г.

На станции «Комсомольская» впервые на метрополитене применили в качестве художественных украшений тематические панно из цветной майоликовой плитки. Закругленные части стен северного аванзала облицованы сюжетными панно, выполненными по эскизам Е.Е. Лансере на тему участия комсомола в стройке метро. На нем изображен труд метростроевцев при строительстве Первой очереди метро.

Поверхность майолики глянцевая, из-за этого в ней отражаются, находящиеся рядом светильники – образуется блик. Этот блик может находиться в разных областях майолики, в зависимости от положения наблюдателя, его роста и расстояния с которого он смотрит на панно. Блик не дает рассмотреть панно в полной мере и портит общее впечатление. Одной из основных задач данной работы является исследование путей устранения таких бликов.



Рис. 21. Блики на правой части майолики



Рис. 22. Блики на левой части майолики

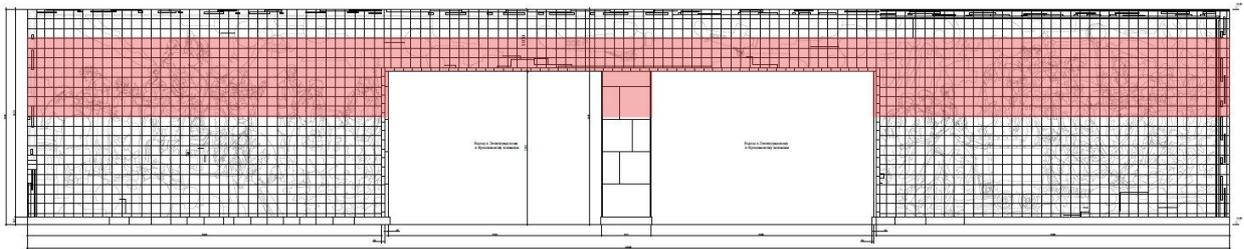
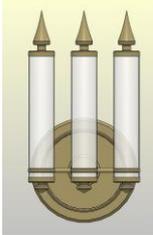
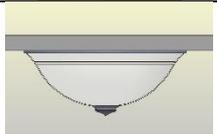


Рис. 23. Область в пределах которой перемещается блик

Таблица 4. Сравнительные характеристики светильников

Наименование светильника	Эскиз светильника	Период	Количество ламп, шт	Общая мощность, Вт	Расчетный КПД, %	Световой поток, лм
1	2	3	4	5	6	7
Люстра в круглом кессоне		1935 г.	9	800	60	4600

1	2	3	4	5	6	7
Люстра в круглом кессоне		Сейчас	1	60	77	3000
Составной светильник, в групповом кессоне		1935 г.	1	200	69	1380
		Сейчас	2	50	69	2000
Настенный светильник		1935 г.	3	105	60	600
		Сейчас	2	20	60	800
Плафон D = 486 мм		1935 г.	1	150	49	735
		Сейчас	1	25	49	800
Шар D = 350 мм		1935 г.	1	200 300	77	1540 2310
		Сейчас	1	28 40	77	1500 2000

## 2.4. Расчет освещенности на соответствие современным нормативным и требованиям

Для сравнения ОУ в различные периоды

- 1935 г. – оригинальные ОП с лампами накаливания соответствующими первоначальному проекту
- 2018 г. – ОП идентичные оригинальным с ЛЛ, использующиеся в настоящее время
- Новая ОУ - ОП идентичные оригинальным со СД источниками света

По чертежам станции Комсомольская была создана компьютерная модель платформенной части и двух аванзалов (Северного и Южного). Для моделирования была выбрана программа Dialux Evo 7, так как на момент написания работы — это самая современная программа, с самой высокой скоростью расчета и наиболее удобным интерфейсом. Технические данные светильников для моделирования представлены в таблице 4.

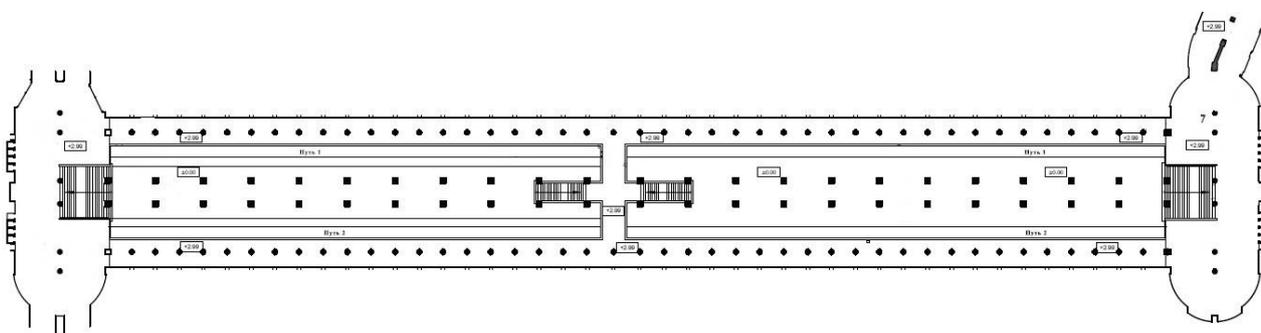


Рис. 24. Схема станции Комсомольская

### 2.4.1. Моделирование освещения станции с источниками света соответствующими первоначальному проекту

Архитекторы и светотехники в 1935 г. были сильно ограничены развитием науки и техники, в частности возможностями источников света, так как лампа накаливания была единственным доступным источником

света. Не смотря на все сложности, связанные с этим, московское метро на тот момент было самым светлым в мире.

Результаты расчетов представлены на рисунках



Рис. 25. Модель Северного аванзала

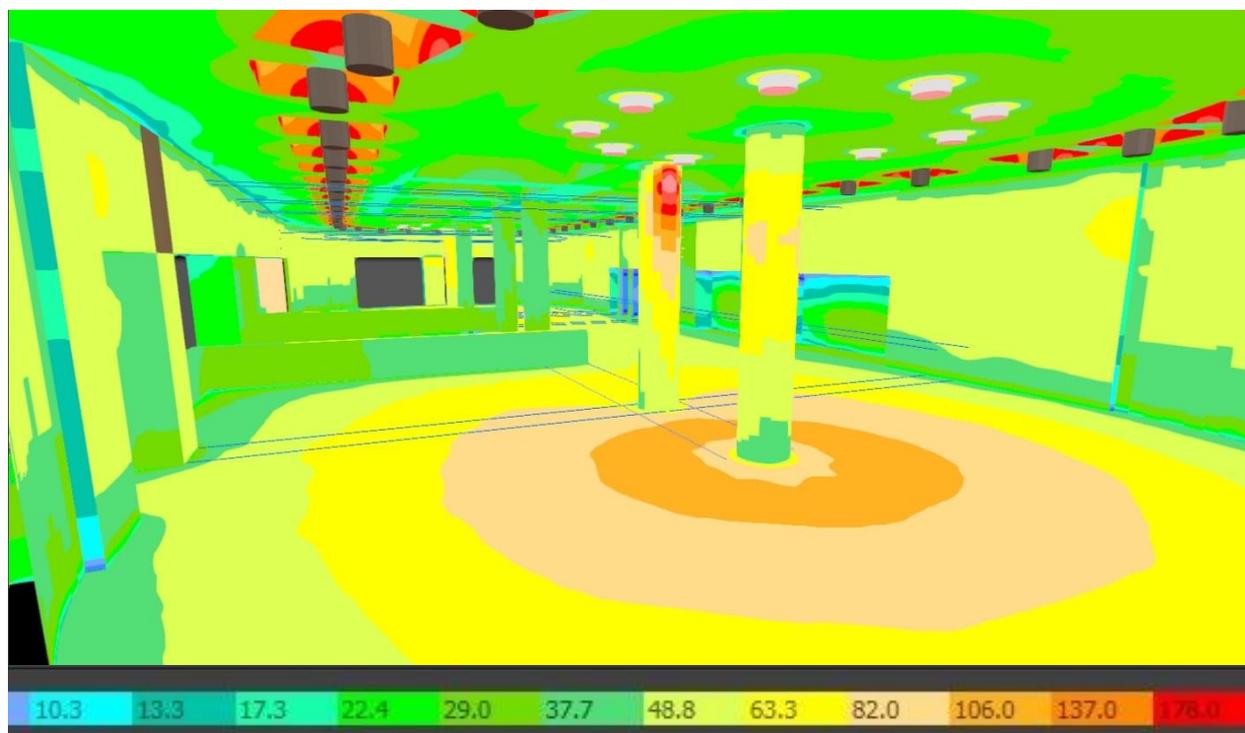


Рис.26. Результаты расчетов освещенности Северного аванзала, представленные в псевдоцветах



Рис. 27. Модель платформы станции Комсомольская

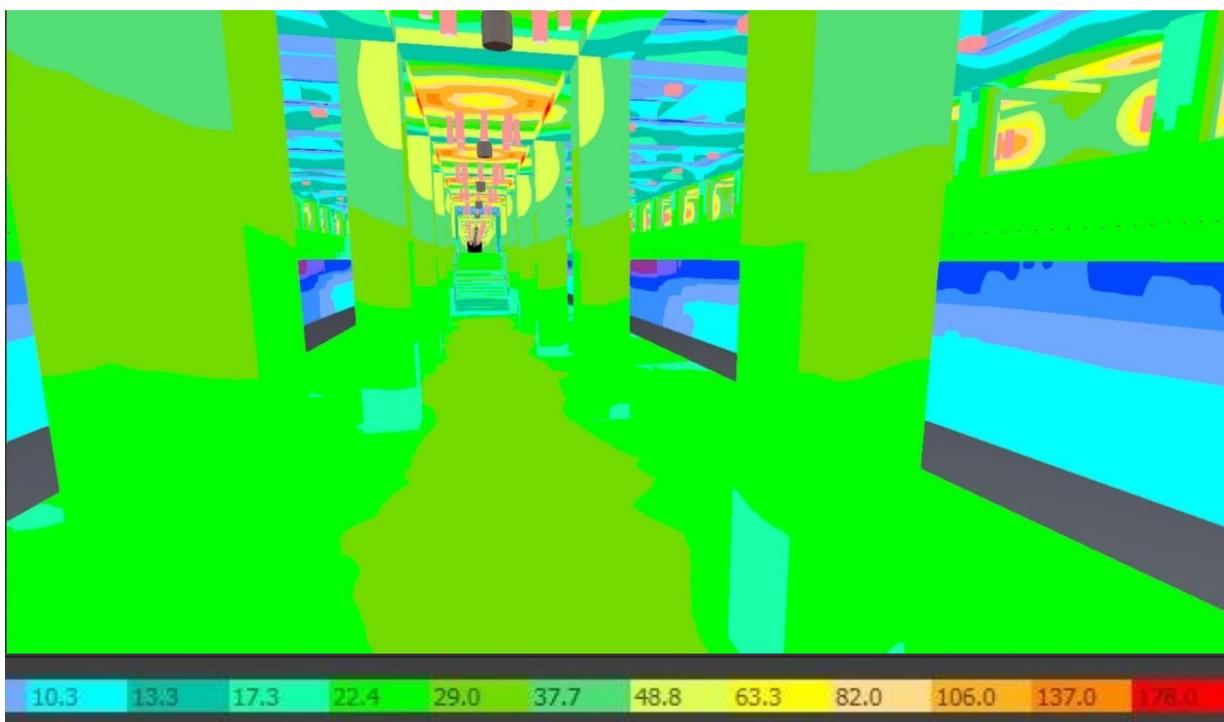


Рис. 28. Результаты расчетов освещенности на платформе, представленные в псевдоцветах



Рис. 30. Модель лестницы и балкона станции Комсомольская

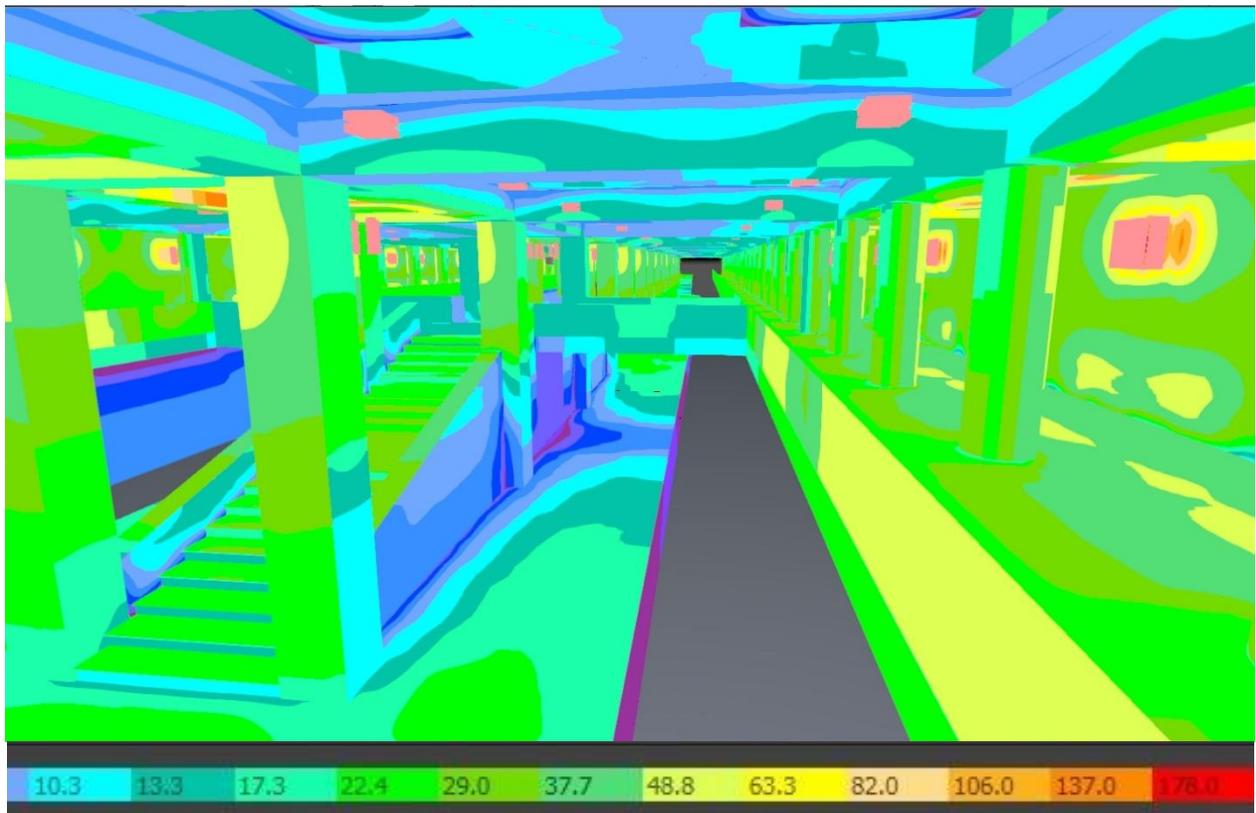


Рис. 31. Результаты расчетов освещенности на лестнице и балконе, представленные в псевдоцветах



Рис. 32. Модель Южного аванзала

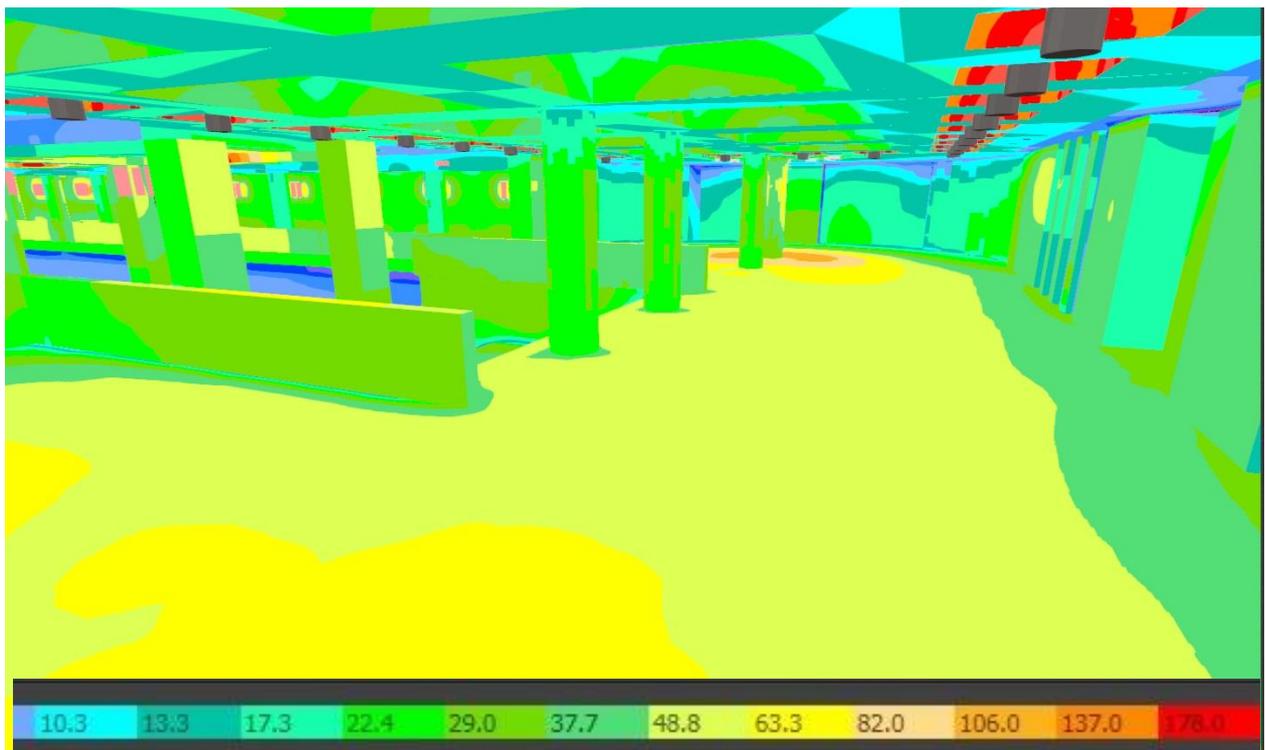
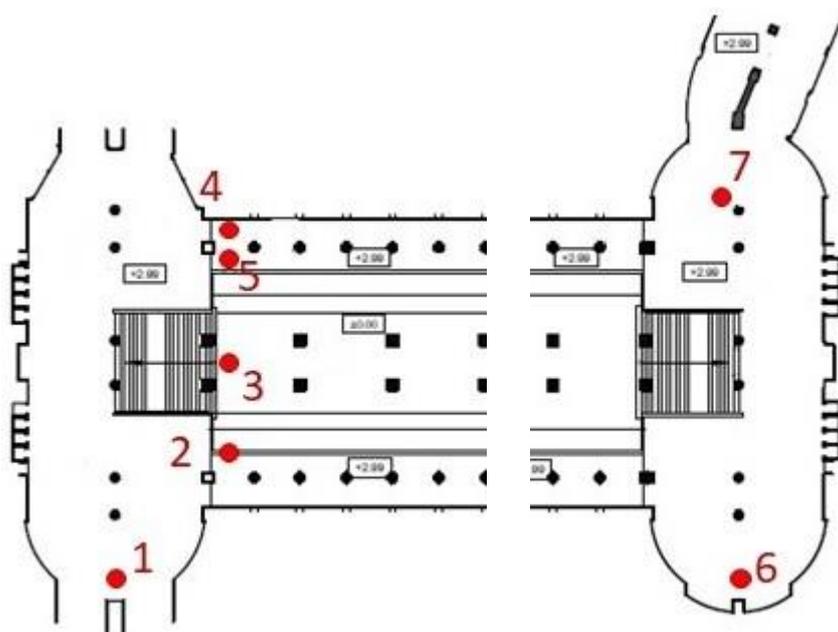


Рис. 33. Результаты расчетов освещенности Южного аванзала, представленные в псевдоцветах

Как видно из расчетов уровни освещенности на станции были низкими, освещенность на платформе станции была 30-40 лк, а освещенность на полу аванзалов 40-60 лк. В связи с низкой эффективностью ламп накаливания, энергопотребление ОУ было очень большим – 98 МВт/ч, однако у осветительной установки 1935 г. есть и свои преимущества, такие как низкое слепящее действие, высокий индекс цветопередачи, низкий коэффициент пульсаций светового потока. Результаты расчетов UGR представлены в таблице 5.



**Рис.34. Схема расположения точек расчета UGR**

**Таблица 5. Результаты расчетов UGR для ОУ 1935г.**

Точка	Название	UGR
1	Южный аванзал	17,2
2	Машинист выезжающий из тоннеля	17,6
3	На платформе	17,0

4	Балкон (ближе к стене)	25,3
5	Балкон (ближе к краю)	24,1
6	Северный аванзал	17,2
7	У майолики	16,6

#### 2.4.2. Моделирование станции с источниками света, используемыми в настоящее время

В настоящее время практически все ОП станции идентичны оригинальным. Однако люстры, висевшие над серединой платформы (см. рис. 15) и полукруглые плафоны, установленные в больших кессонах аванзалов, были заменены на шары, а длина подвеса у светильников аванзалов увеличилась на 25 см. Вместо ламп накаливания в ОП используются КЛЛ. Все эти изменения были учтены при расчете действующей ОУ.



Рис. 34. Модель станции. Северный аванзал



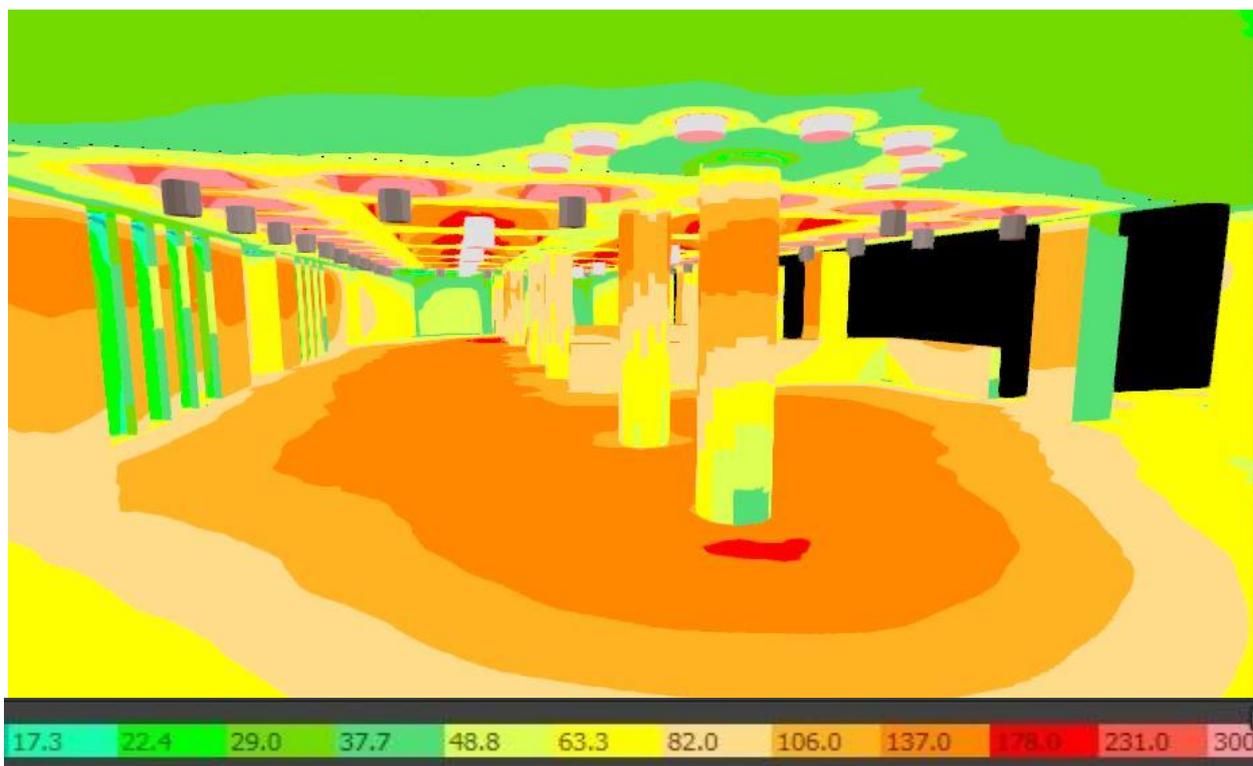


Рис. 37. Результаты расчетов освещенности Южного аванзала



Рис.38. Модель станции. Платформа

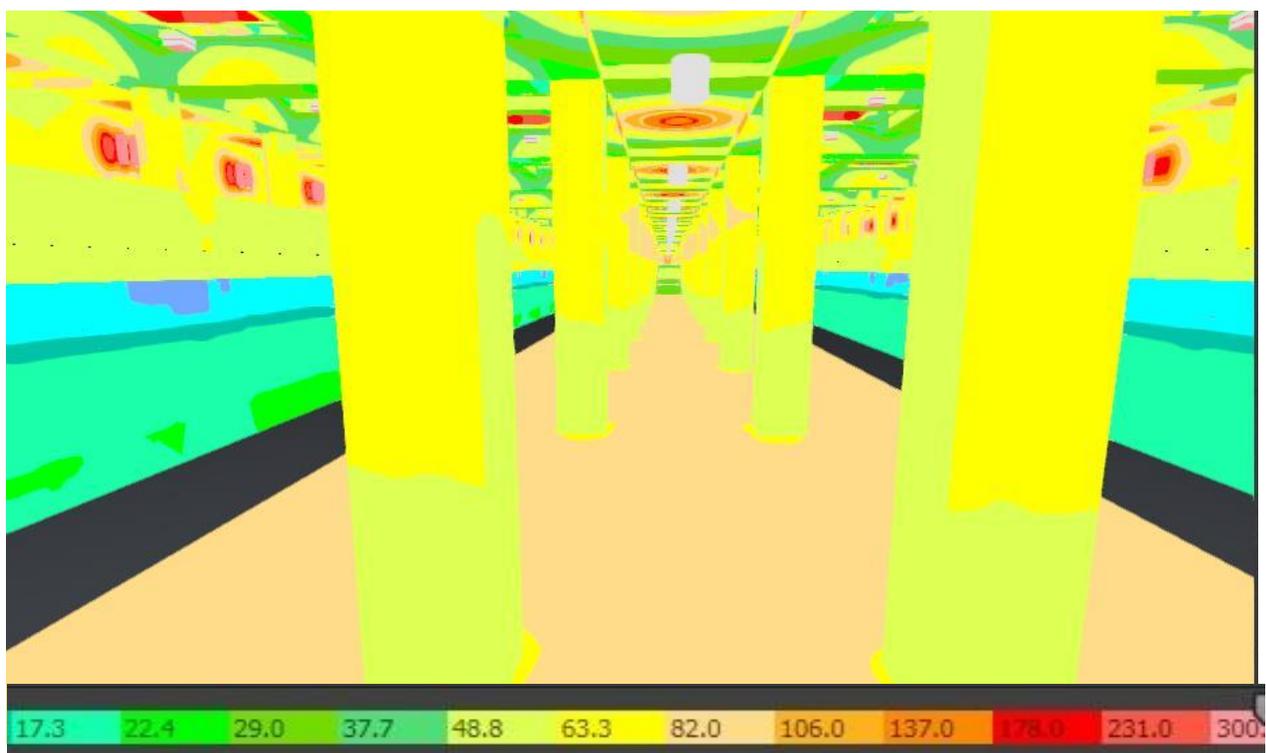


Рис. 39. Результаты расчетов освещения платформы



Рис. 40. Модель станции. Балкон и платформа

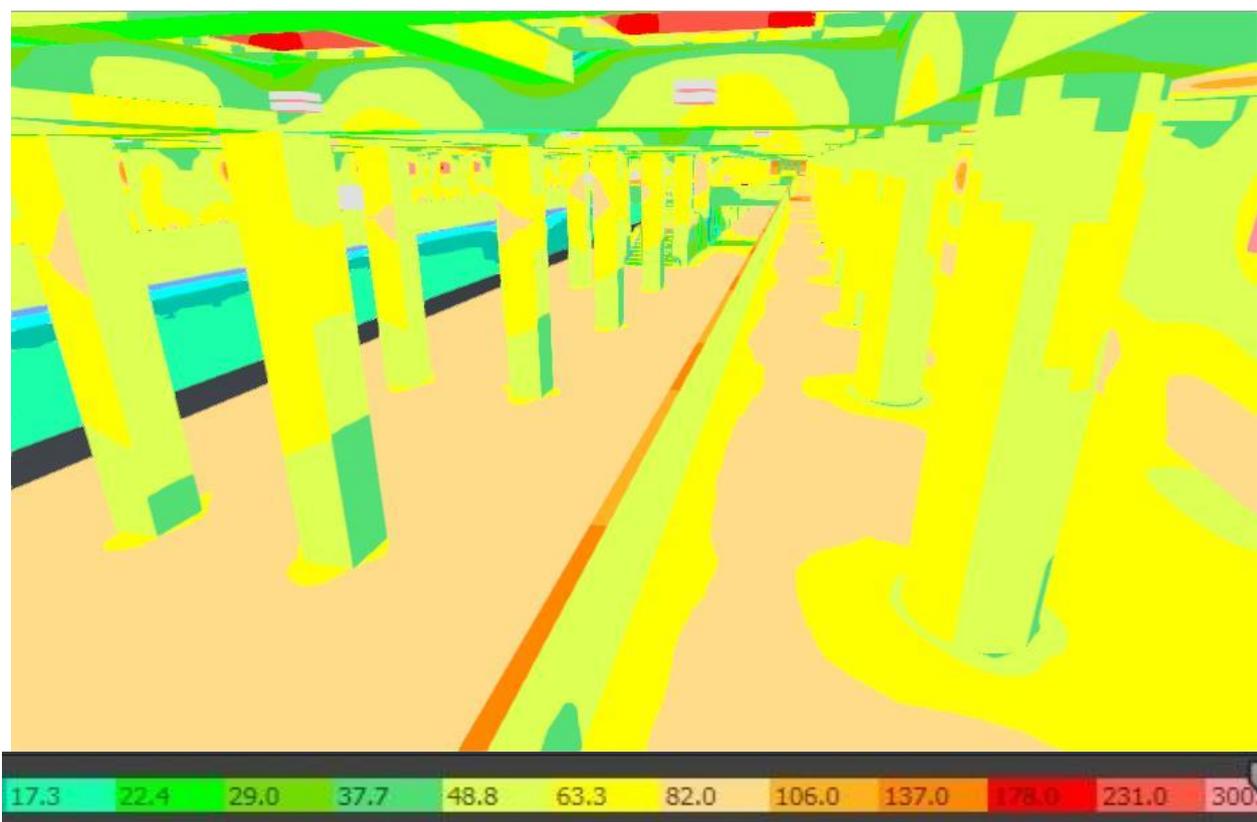


Рис. 41. Результаты расчетов освещенности на балконе и платформе



Рис. 42. Модель станции. Балкон и лестница

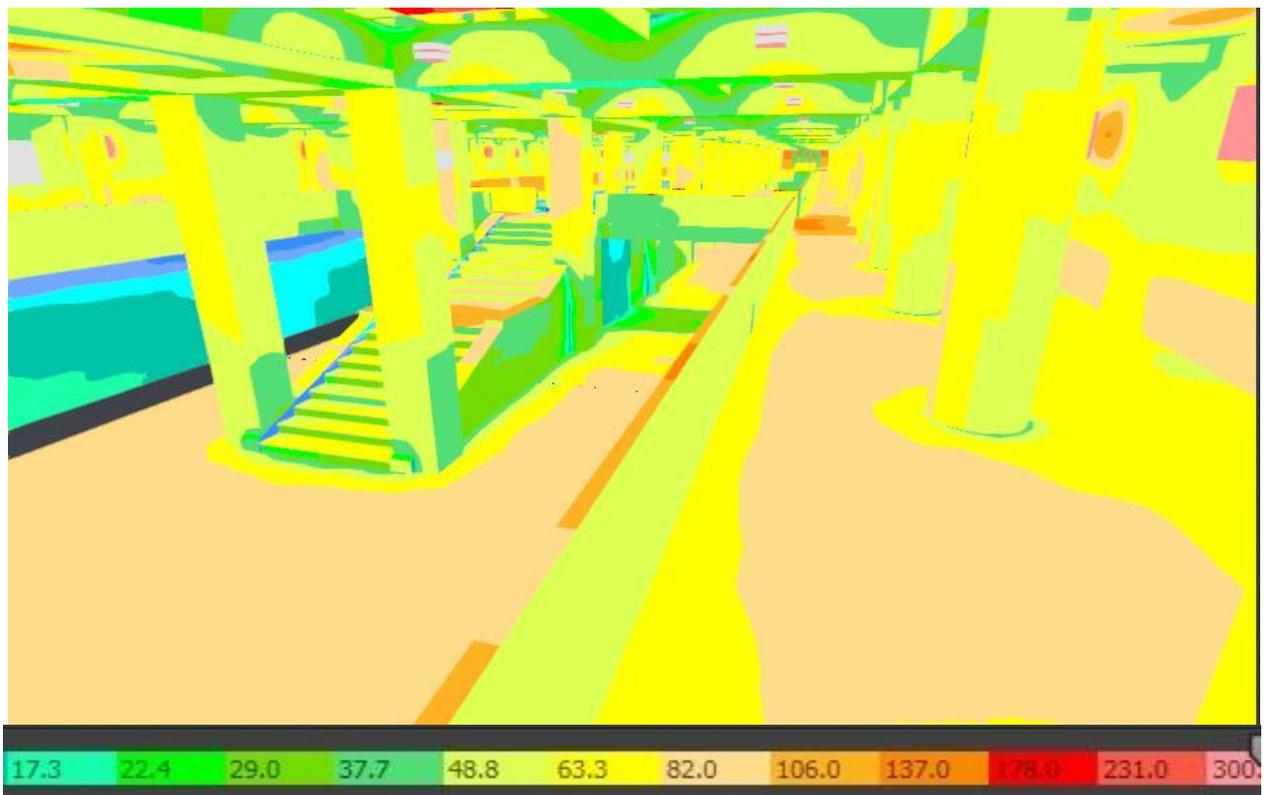


Рис. 43. Результаты расчетов освещения балкона и лестницы

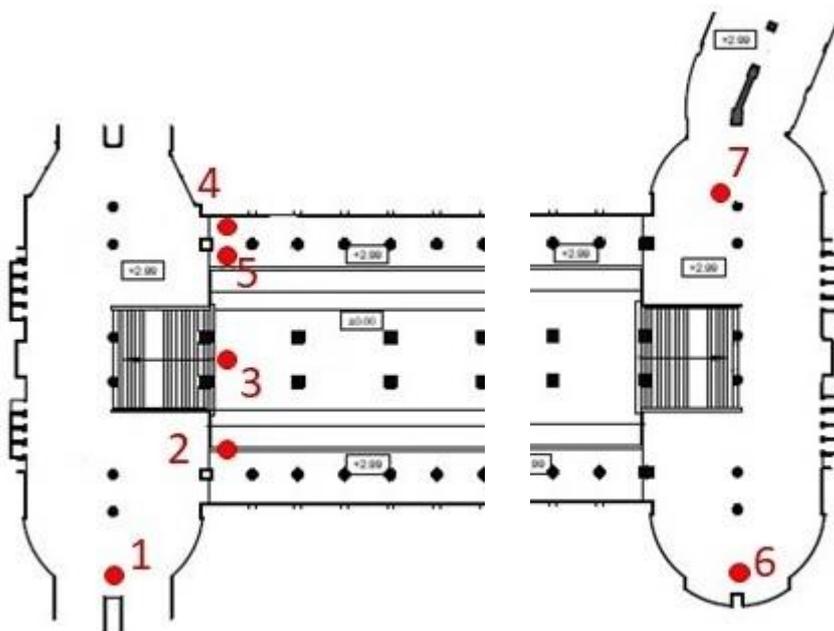


Рис. 44. Схема расположения точек для расчета UGR

Таблица 6. Расчеты UGR для действующей ОУ

Точка	Название	UGR
1	Южный аванзал	21,1
2	Машинист выезжающий из тоннеля	19,1
3	На платформе	18,5
4	Балкон (ближе к стене)	19,7
5	Балкон (ближе к краю)	20,4
6	Северный аванзал	16,9
7	У майолики	17,1

Замена ламп накаливания на КЛЛ увеличила эффективность ОУ станции, потребляемая мощность снизилась до 19 МВт/ч, но уровни освещенности остались достаточно низкими и не соответствуют современным нормам.

Освещенность на платформе 70-90 лк, на полу аванзалов 100-150 лк. При этом у действующей ОУ есть ряд недостатков, связанных с недостатками газоразрядных ИС, такие как низкий Ra, высокий коэффициент пульсаций светового потока и наличие ртути в ИС.

### 3. Анализ современного состояния и формулирование требований к реконструкции освещения и воссозданию световых приборов, обеспечивающих современные нормативы к рабочему и аварийному освещению

#### 3.1. Экспериментальные исследования состояния световой среды

Для проверки расчетов на станции Комсомольская были проведены измерения освещенности в различных областях станции. Для измерений использовался прибор «ТКА-ПКМ»/02, такой прибор может использоваться как люксметр и как яркомер (для самосветящихся объектов), но в измерениях он использовался только как люксметр, а его характеристики приведены в таблице 7.

Таблица 7. Характеристики фотометра ТКА-ПКМ

Характеристика	Значение
Внешний вид	
Диапазон измерений, лк	10 ... 200 000
Предел допускаемой основной относительной погрешности, %	$\pm 8,0$
Номер в государственном реестре средств измерений	24248-04

Измерения производились в характерных точках стационарного пространства.

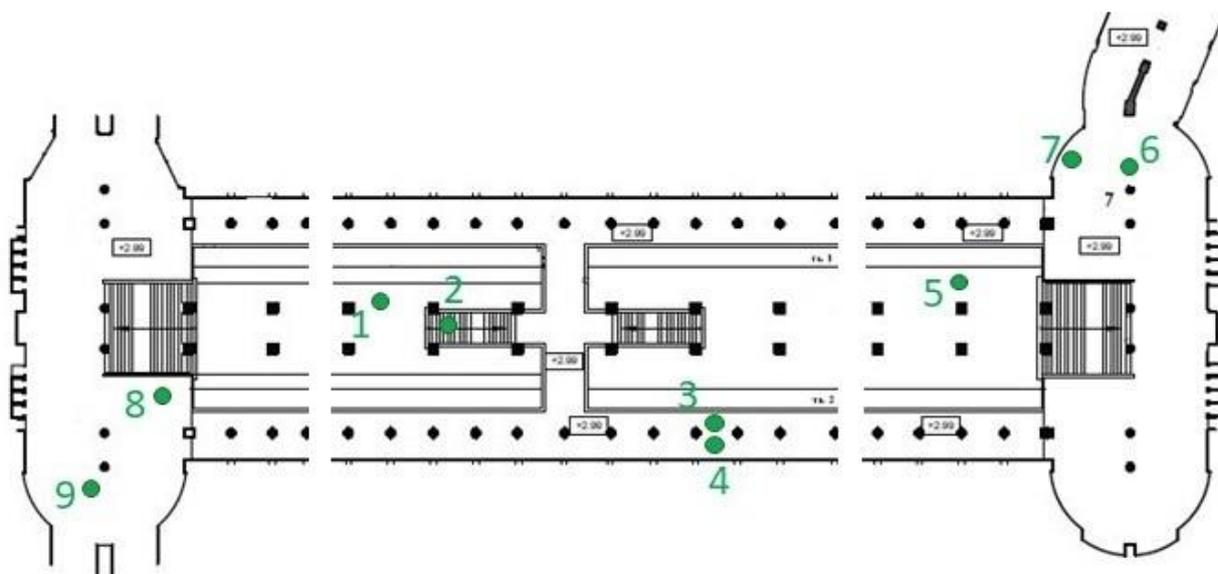


Рис.45. Схема расположения точек измерения освещенности.

Таблица 8. Результаты измерений освещенности

Точка	Название	Е <sub>гор</sub> , лк
1	Платформа	71
2	Лестница	68
3	Балкон у стены	56
4	Балкон у края	92
5	Конец платформы	77
6	Северный вестибюль	120
7	Пол у майолики	107
8	Южный аванзал у лестницы	80
9	Южный аванзал у колонны	125

Измеренные значения освещенности оказались ниже расчетных на 15-20%.

Это может быть связано с погрешностями в измерениях и расчетах, а также с

ухудшением характеристик ОП в процессе эксплуатации или несвоевременной заменой перегоревших ламп. По результатам измерений можно сделать вывод, что освещенность на полу платформы и аванзалов не соответствует современным нормам [14], и в связи с этим необходима реконструкция освещения.

### **3.2. Разработка рекомендаций по использованию современных источников света в «исторических» световых приборах**

Применение современных ИС при реконструкции исторических световых приборов значительно расширяет возможности по формированию световой среды метрополитена. Применение СИД при модернизации ОП позволяет

- За счет более высокой энергоэффективности по сравнению с традиционными ИС повысить количественные характеристики освещения без дополнительных затрат электроэнергии.
- Добиться идеального зрительного восприятия (без искажений и световых бликов) декоративных элементов станций (мозаики, майолики, барельефов, витражей и т.п.), с любой точки соответствующей станционной зоны;
- Снизить эксплуатационные издержки
- Управлять световым потоком изменять спектральный состав освещения и его цветовую температуру, чтобы подстраивать освещение под биологические ритмы человека
- Перевести электрическую сеть освещения с напряжения 220 В на 48 В, поскольку нет необходимости питать СД высоким напряжением. Этот переход позволит сделать электрическую сеть метрополитена более безопасной и удобной в эксплуатации.

Так, например, отпадет необходимость в отдельной электрической сети для аварийного освещения, так как можно будет переходить на аварийный режим простым переключением всех приборов без преобразователя напряжения.

Все вышеперечисленные возможности СД ИС позволяют сформулировать требования для источников света применяемых для реконструкции «исторических» световых приборов.

Для формирования комфортной световой среды, после реконструкции ОП и отдельные их компоненты должны обладать следующими характеристиками.

- Световая отдача  $>110$  лм/Вт
- $R_a > 90$
- Малые габариты
- Иметь возможность изменения  $T_{цв}$
- У излучения ИС не должно быть пика в коротковолновой части спектра
- Блоки питания должны обеспечивать  $K_p < 5\%$
- Светильники должны иметь степень защиты IP 45 и выше
- Светодиодные модули, радиаторы и блоки питания должны быть максимально унифицированы.
- Должна быть возможность быстрой и удобной замены СД модуля или блока питания, в случае их выхода из строя.

### 3.3. Анализ отраслевых норм Московского метрополитена

В таблице приведены данные из СП-32-105-2004 пункт 5.10.5 «Освещение» [14] предписывает следующие нормы для освещения метрополитена.

Допустимое отклонение горизонтальной освещенности от нормативной должно составлять не более минус 10 + 20%.

Таблица 9. Нормативные значения используемые для проектирования освещения на станции Комсомольская

<b>Помещение</b>	<b>Плоскость нормирования освещенности</b>	<b>Горизонтальная освещенность, лк</b>
Станция: средний и платформенный зал	Уровень пола	200
Предэскалаторная зона	Уровень пола	100
Гребенки эскалатора и лестничные марши	Уровень гребенки, ступени	100

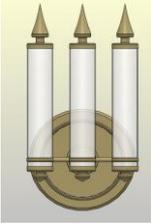
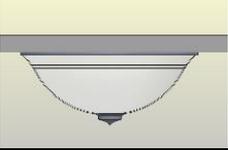
В ОУ пассажирских помещений среднее значение показателя дискомфорта должно быть не более 20 с допустимым превышением до 20%.

Аварийное (эвакуационное) освещение предусматривать в пассажирских, производственных и бытовых помещениях станций, в тоннелях и в притоннельных условиях. 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.

### 3.4. Расчет освещенности на соответствие требованиям проекта с рекомендуемыми источниками света.

При помощи моделирования ОУ в Dialux Evo 7 были рассчитаны технические характеристики светильников необходимые для соблюдения всех требований, предъявляемых к проекту. Характеристики ОП представлены в таблице 10.

Таблица 10. Характеристики светильников, использовавшиеся для расчета

Наименование светильника	Эскиз светильника	Общая мощность, Вт	Расчетный КПД, %	Световой поток, лм
Люстра в круглом кессоне		116	60	8000
Составной светильник		55	69	5000
Настенный светильник		19.5	60	1500
Плафон D = 486 мм		50	49	3000
Шар D = 400 м		50	77	4000

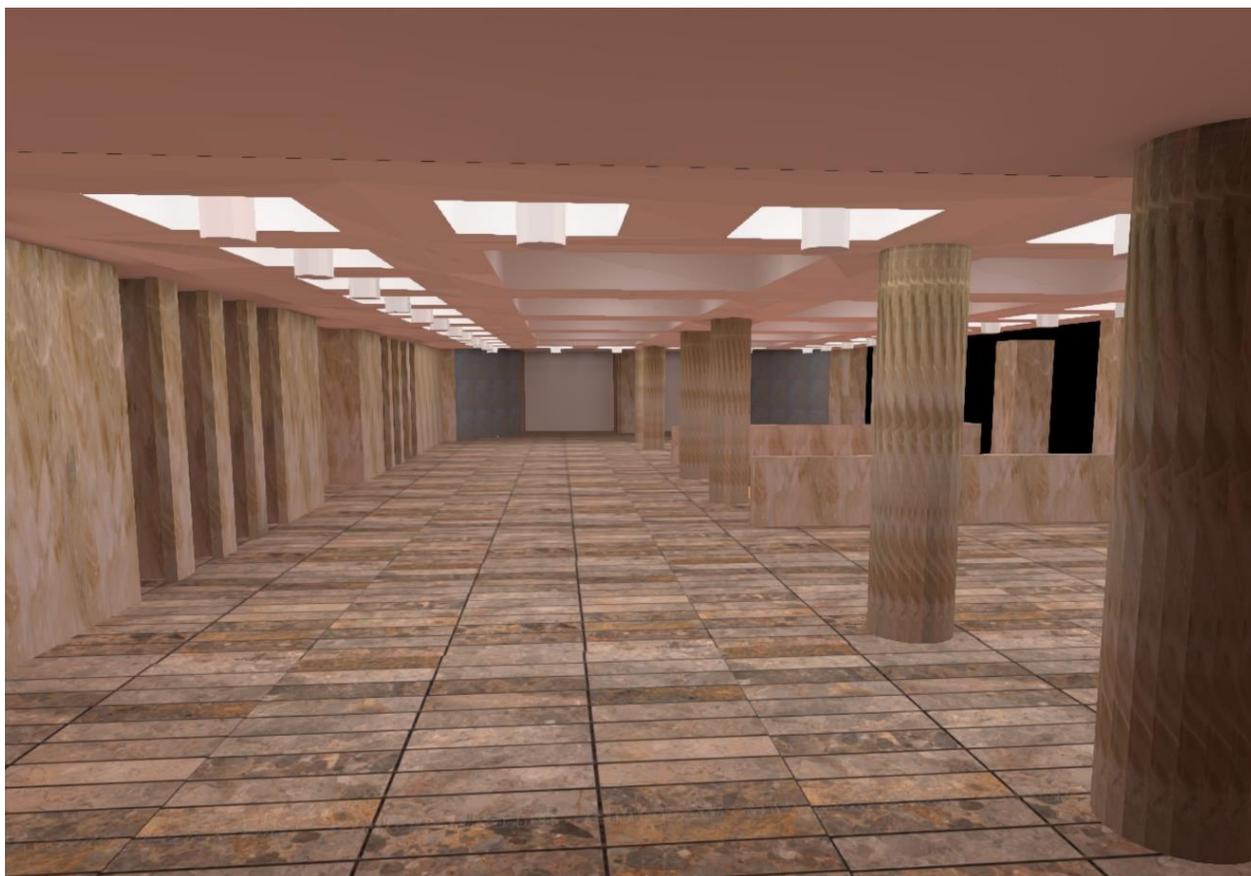


Рис. 46. Модель Южного аванзала

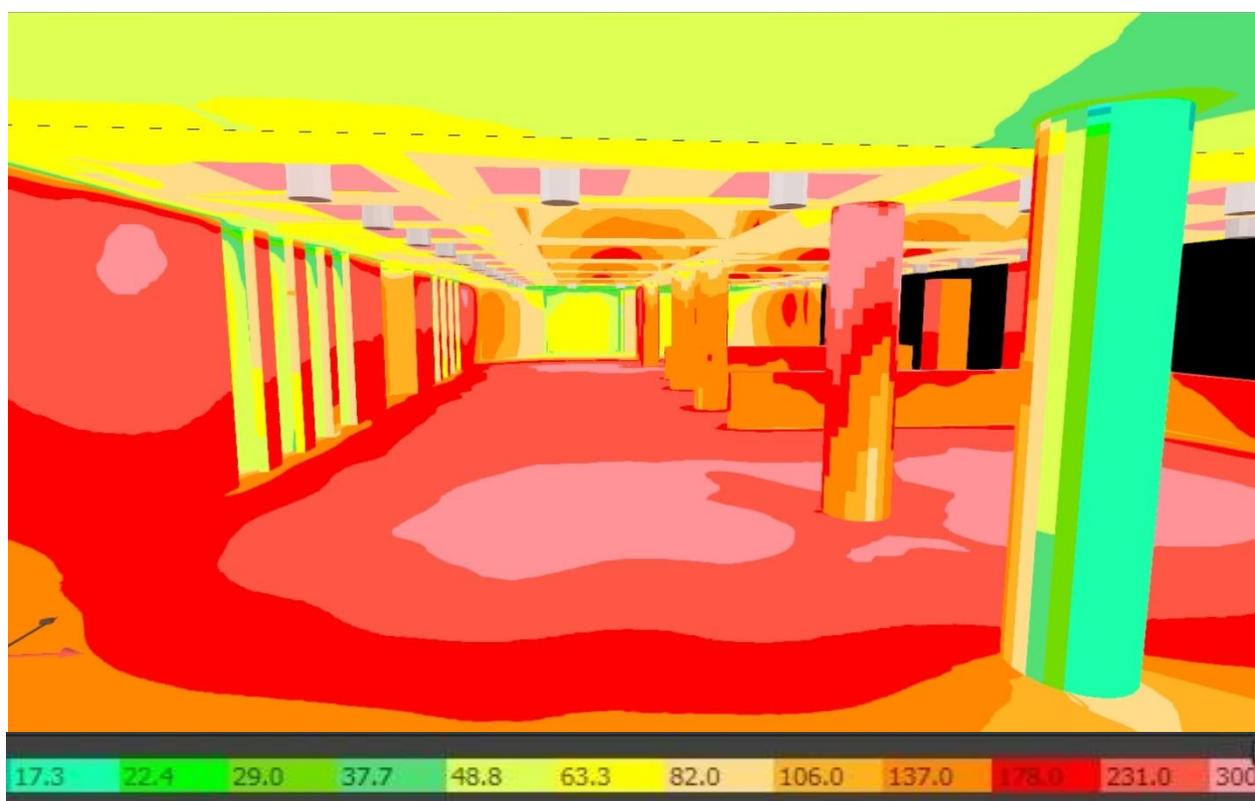


Рис.47. Результаты расчетов освещенности в Южном аванзале представленные в псевдоцветах



Рис. 48. Модель Северного аванзала

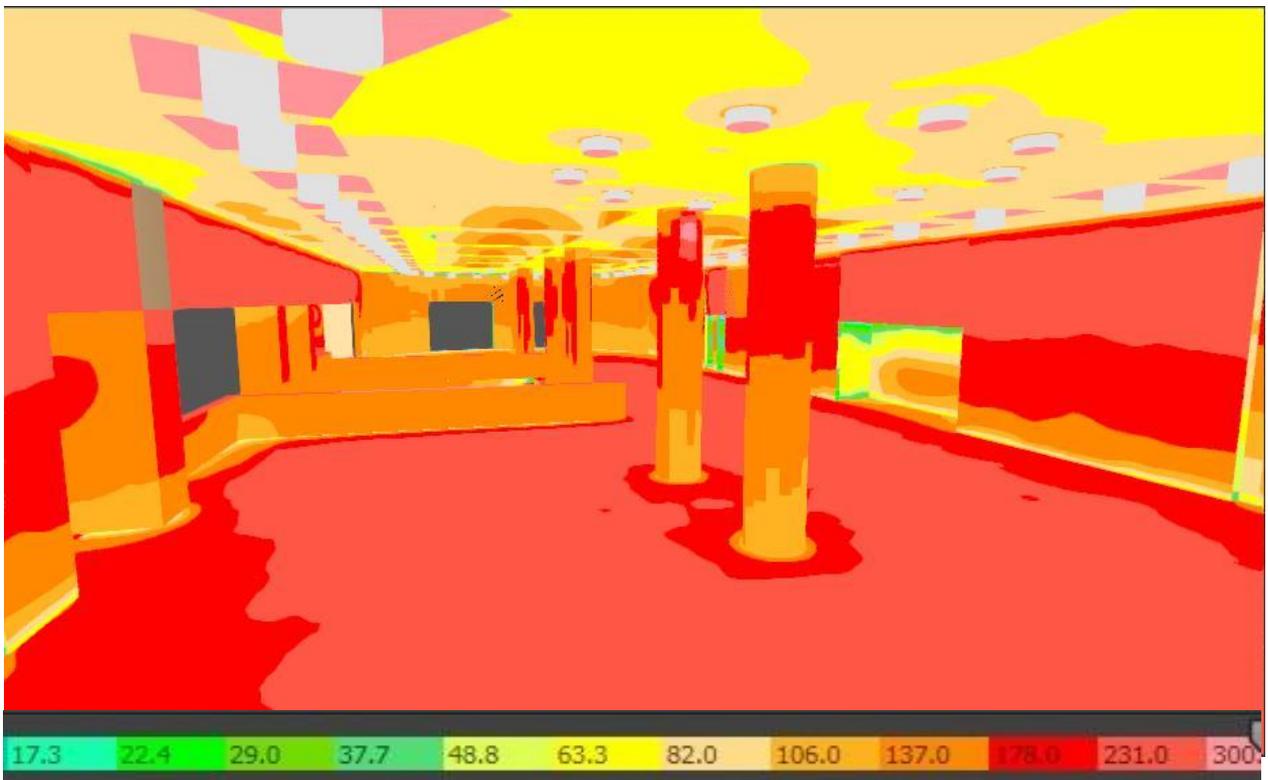


Рис. 49. Результаты расчетов освещенности в Северном аванзале представленные в псевдоцветах



Рис. 50. Модель Платформы и балкона

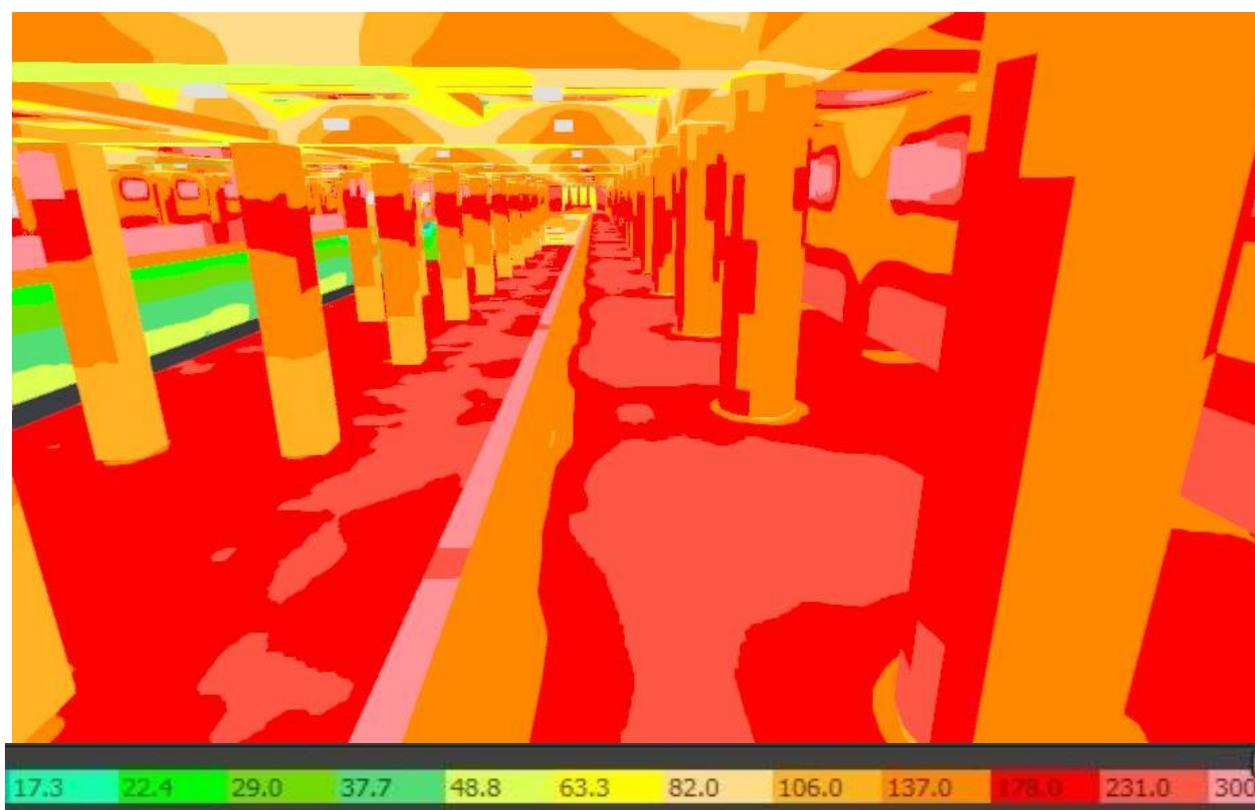


Рис. 51. Результаты расчетов освещенности на платформе и балконе представленные в псевдоцветах



Рис. 52. Модель центральной лестницы

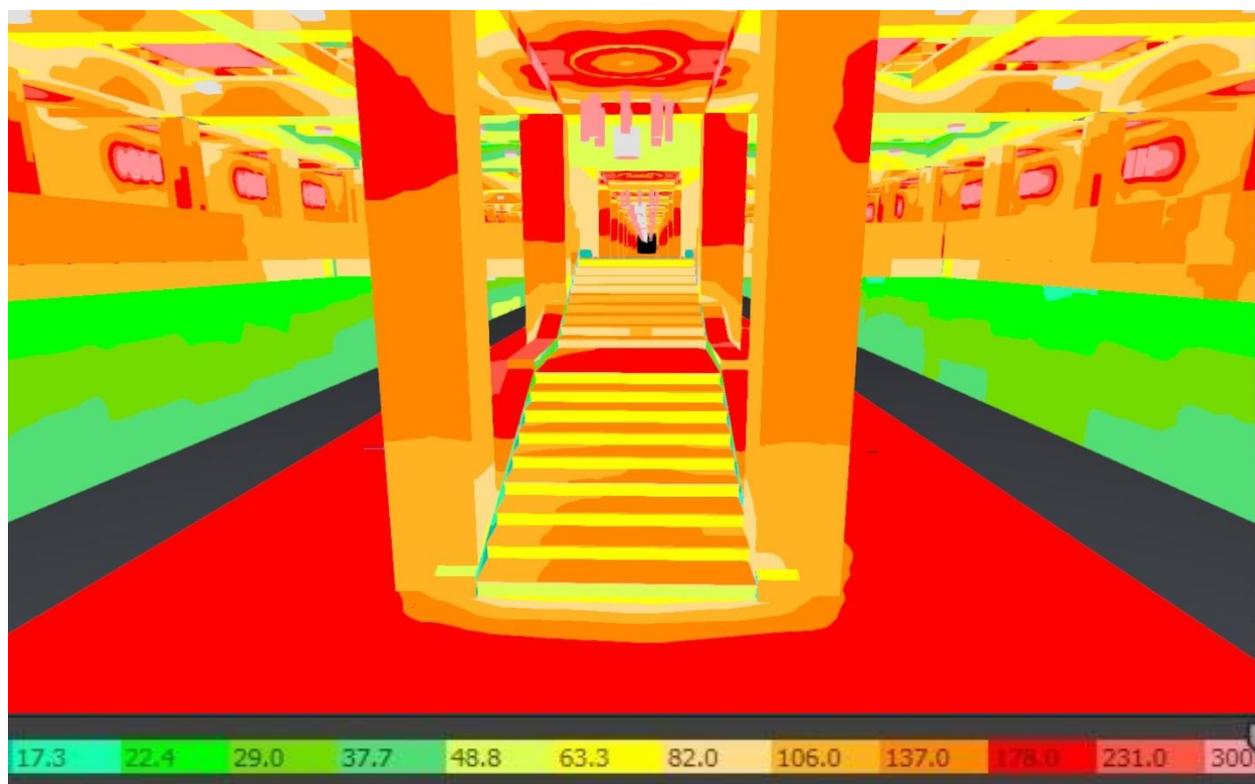
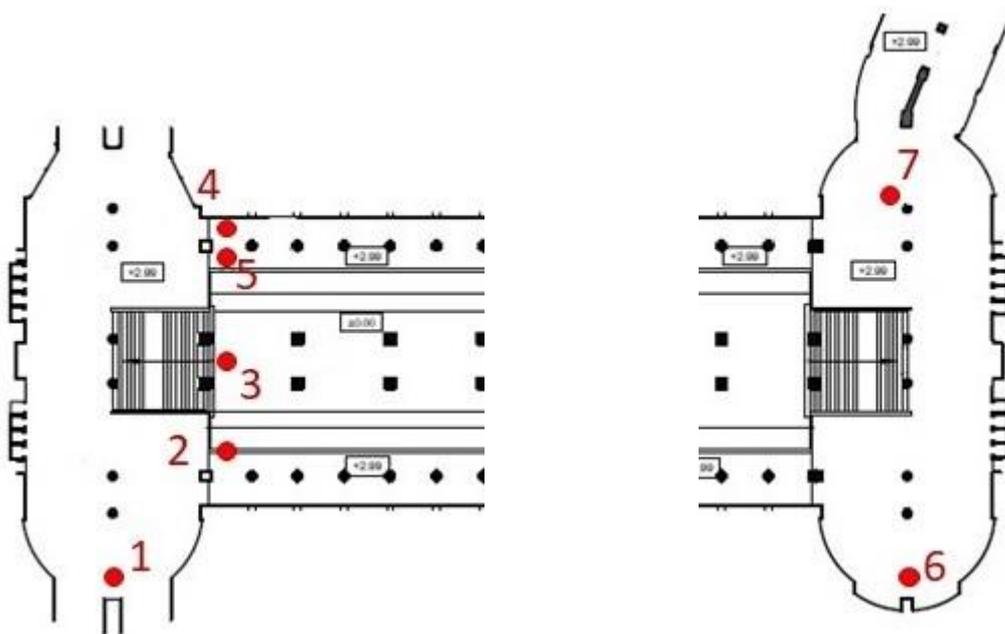


Рис. 53. Результаты расчетов освещенности центральной лестнице представленные в псевдоцветах



**Рис. 54** Схема расположения точек расчета UGR

**Таблица 11.** Результаты расчетов UGR

<b>Точка</b>	<b>Название</b>	<b>UGR</b>
<b>1</b>	Южный аванзал	<b>22,0</b>
<b>2</b>	Машинист выезжающий из тоннеля	<b>21,2</b>
<b>3</b>	На платформе	<b>19,2</b>
<b>4</b>	Балкон (ближе к стене)	<b>22,0</b>
<b>5</b>	Балкон (ближе к краю)	<b>21,7</b>
<b>6</b>	Северный аванзал	<b>18,1</b>
<b>7</b>	У майолики	<b>20,3</b>

Новая ОУ обеспечивает нормируемую освещенность на платформе и полу вестибюлей, не оказывает слепящего действия на пассажиров (как видно из результатов расчетов UGR представленных в таблице 11).

Расчетное энергопотребление ОУ – 25,5 МВт/ч, оно на 34% выше чем у существующей ОУ, при этом создаваемая ею освещенность в 2,5 выше.

### 3.5. Расчет аварийного освещения

Аварийное освещение в метро имеет особую важность, так как на большинстве станций нет естественного освещения.

В проекте аварийными СП являются светильники рабочего освещения, подключенные к сети аварийного питания (расположение аварийных светильников представлено на рис.55). Аварийное освещение должно не просто создавать нормируемую освещенность (10 лк), оно должно направлять людей, что особенно важно в стрессовой ситуации, поэтому над лестницами и рядом с проходами аварийных светильников больше, чтобы выделить эту зону и направить к ним поток людей.

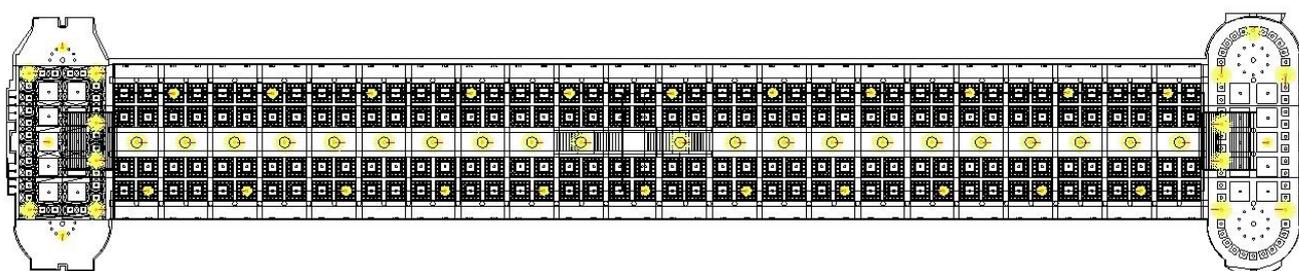


Рис. 55. Схема расположения аварийных светильников

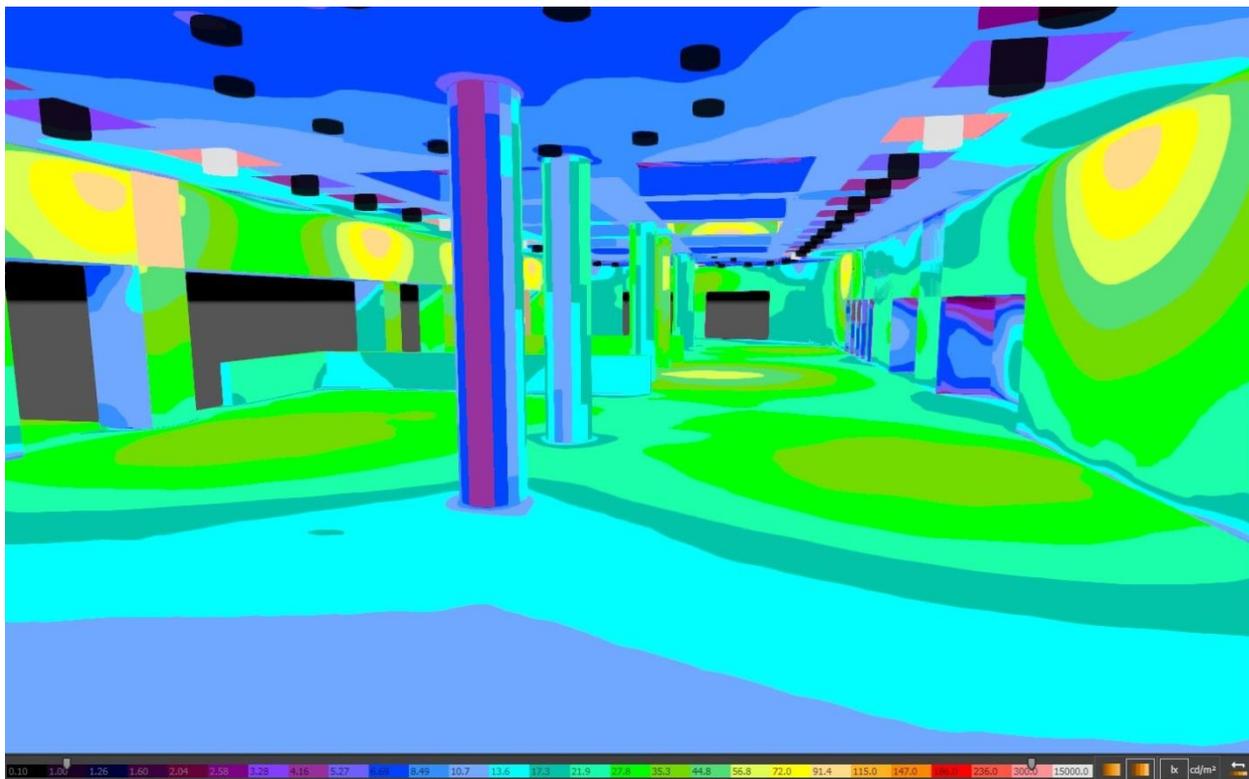


Рис. 56. Результаты расчетов аварийного освещения в северном аванзале

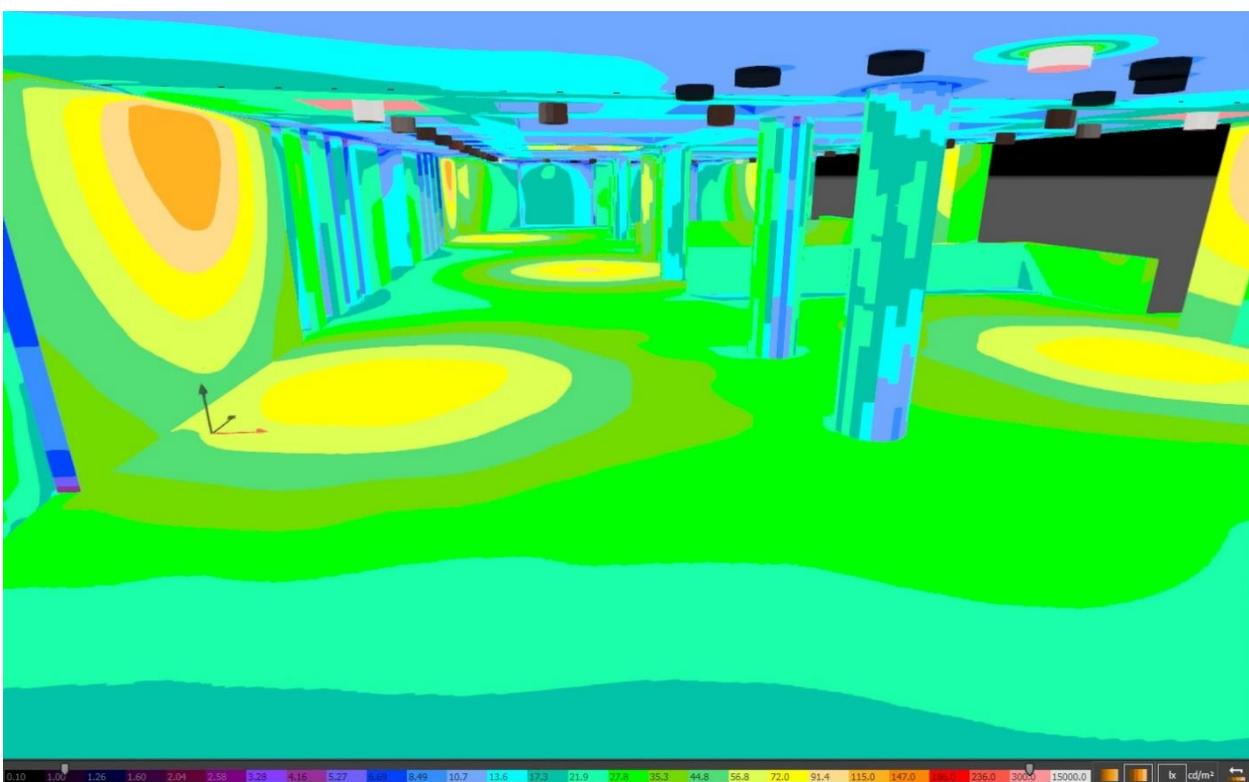


Рис. 57. Результаты расчетов аварийного освещения в южном аванзале

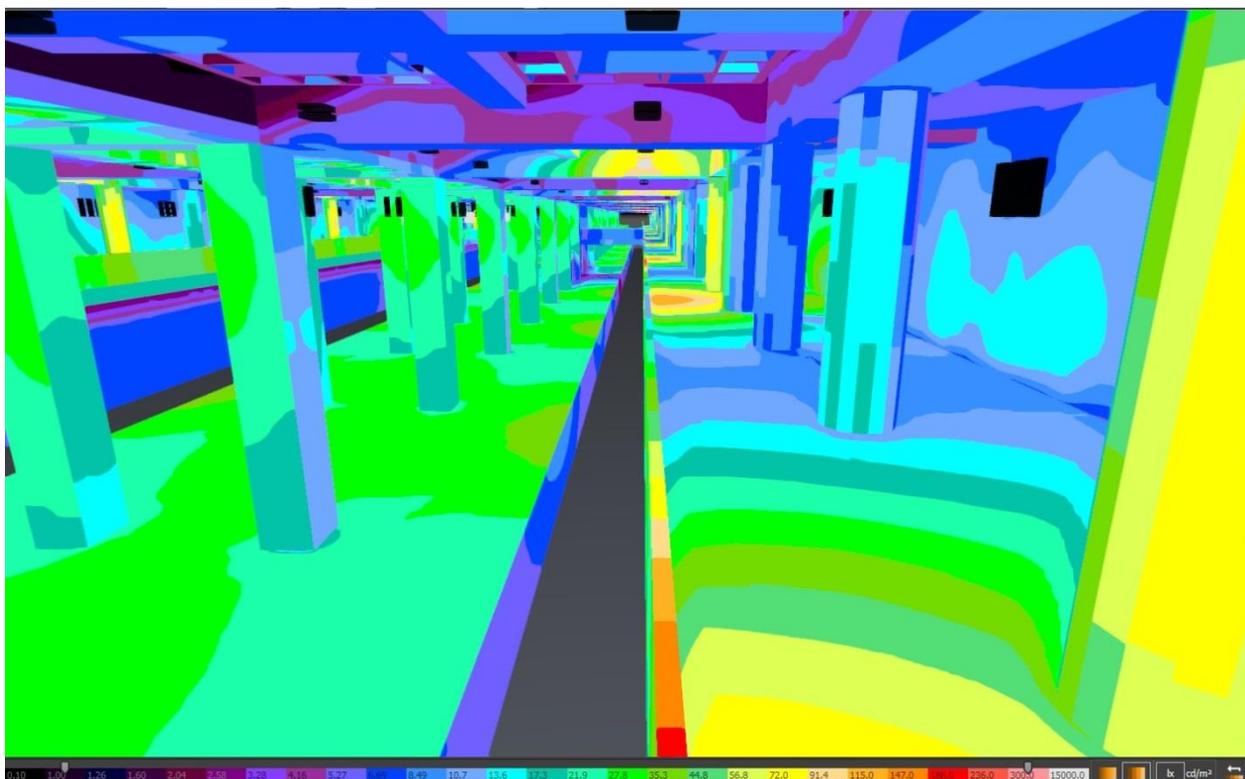


Рис. 58. Результаты расчетов аварийного освещения на балконе и платформе

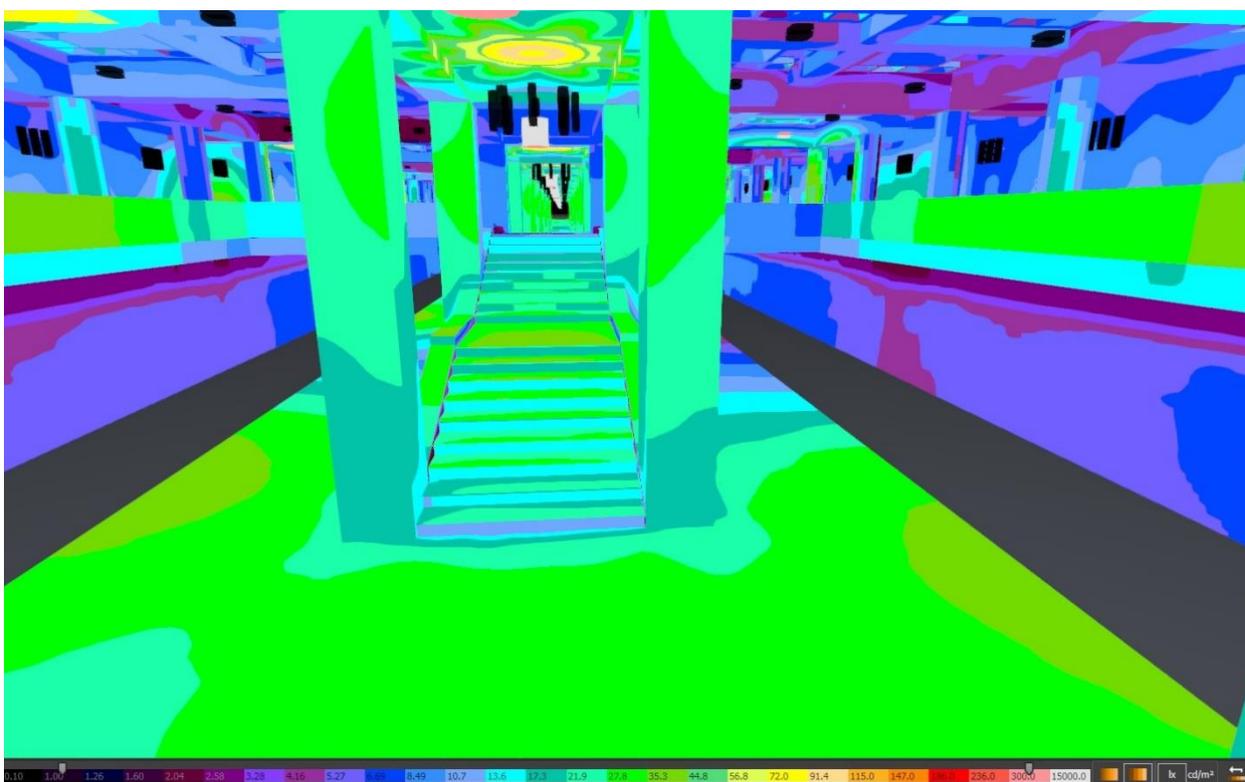


Рис. 59. Результаты расчетов аварийного освещения на центральной лестнице

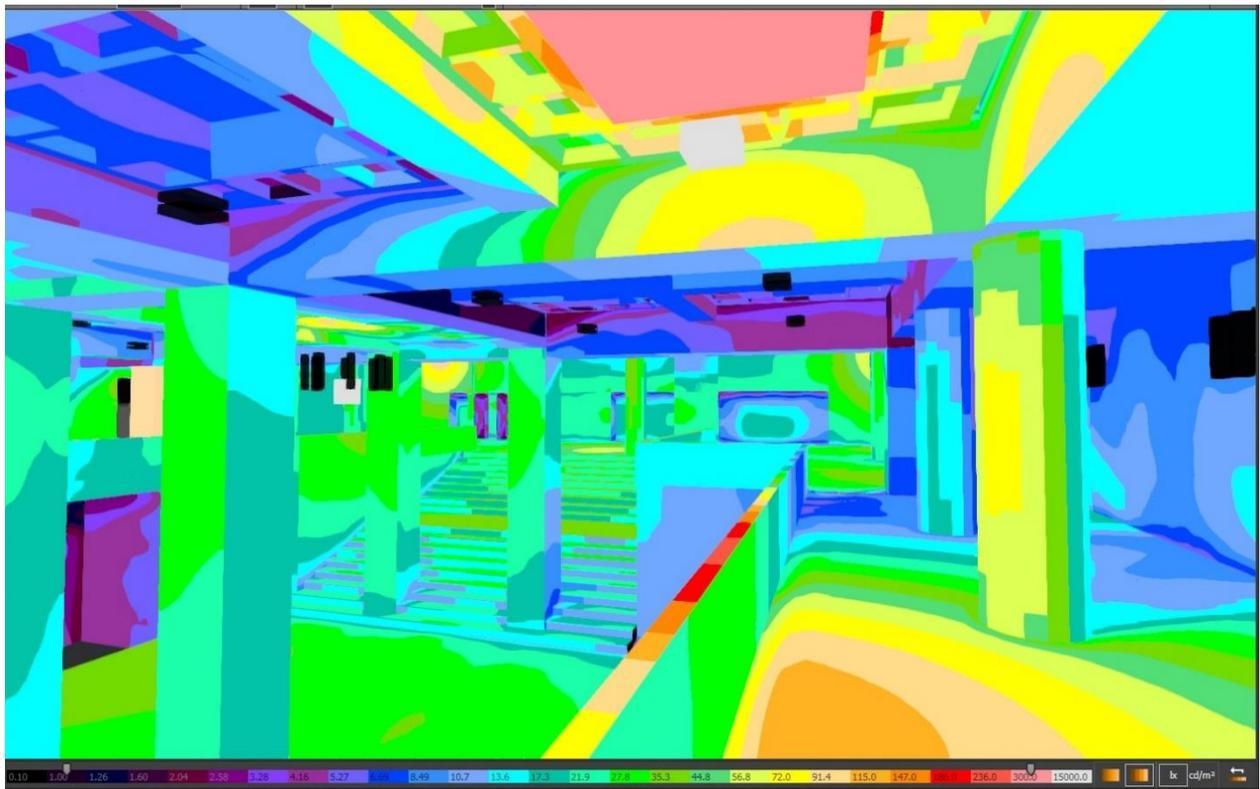


Рис. 60. Результаты расчетов аварийного освещения на лестнице ведущей в северный аванзал

#### **4. Воссоздание световых приборов с современными источниками света, обеспечивающими требования, предъявляемые к объектам «культурного наследия» и комфортной световой среде**

Как уже было сказано для того, чтобы станция не потеряла статус объекта культурного наследия, приборы на станции должны выглядеть точно так же, как и на момент постройки станции, поэтому для повышения эффективности ОУ необходимо модернизировать сохранившиеся приборы и воссоздать утраченные ОП, но уже со СД ИС. Для воссоздания утраченных световых приборов были сделаны их упрощенные модели в программе SolidWorks 2015 [15].

##### **4.1. Воссоздание утраченных световых приборов**

В качестве ИС для цилиндров люстры предполагается использовать светодиодные модули с удаленным люминофором, о которых более подробно будет рассказано далее. Источником света для шара люстры могут быть такие же светодиодные модули другой длины или матрица светодиодов. По расчетам, приведенным в пункте 4.4 каждый цилиндр должен излучать световой поток 800 лм, а шар – 1600 лм. Блок питания крепится на радиатор внутри шара. В каждом плафоне люстры предусмотрен специальный гидрофобный клапан, позволяющий воздуху свободно циркулировать, но не пропускающий воду внутрь светильника, за счет чего обеспечивается степень защиты IP 45. Для уточнения размеров радиаторов необходимы тепловые расчеты, которые в работе не производились

Результаты моделирования представлены на рисунках.



Рис. 60. Модель люстры

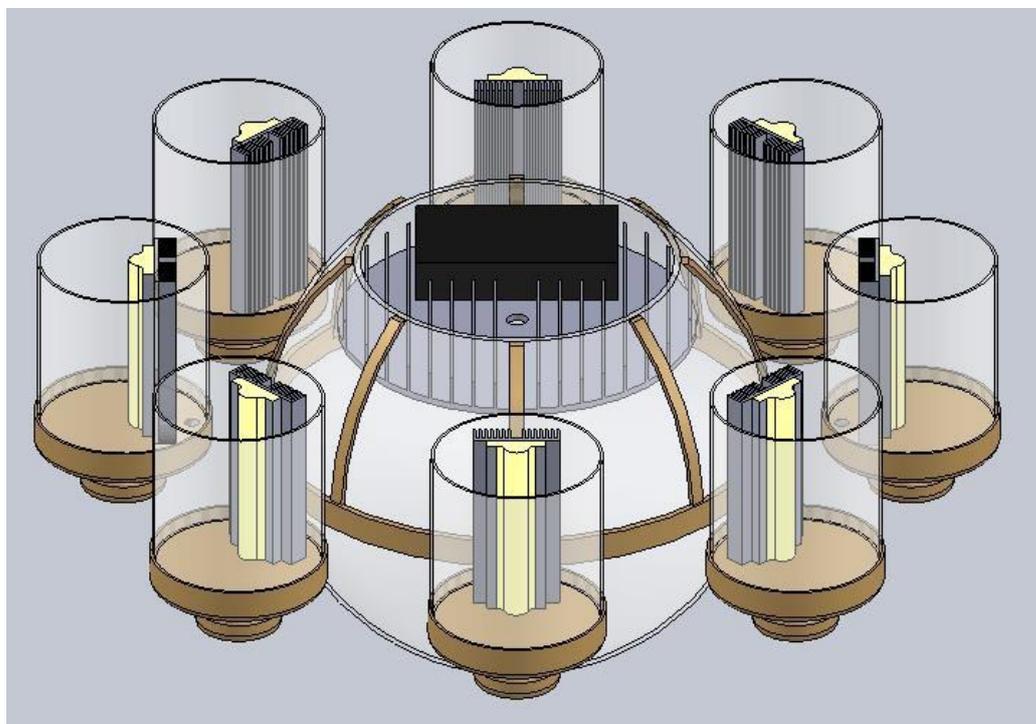


Рис. 61. Модель люстры разрез горизонтально проецирующей плоскостью

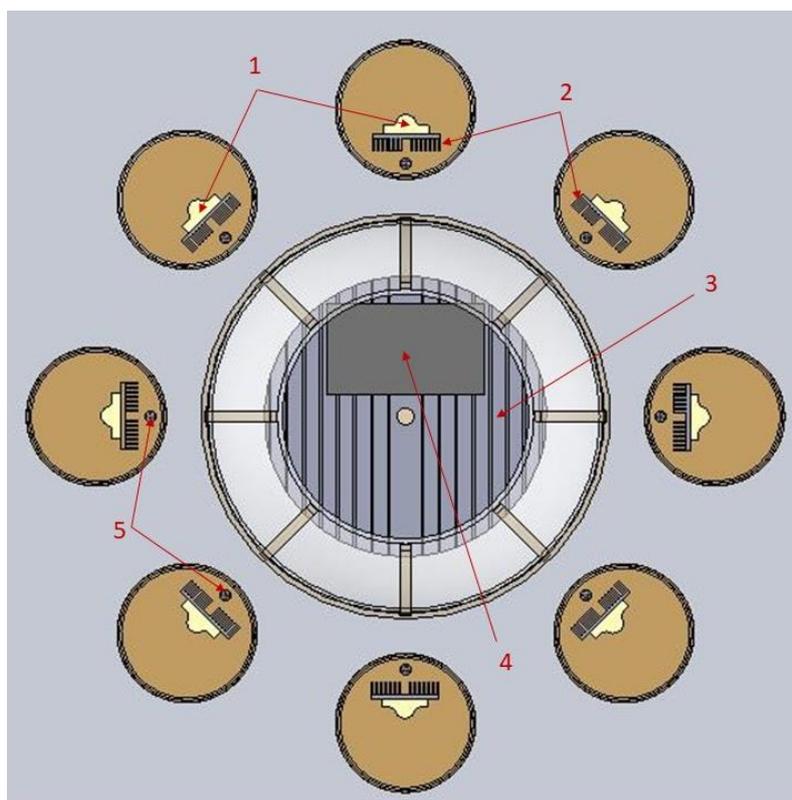


Рис.62. Модель люстры. Разрез горизонтально проецирующей плоскостью 1) Светодиодные модули с удаленным люминофором 2) и 3) Радиаторы 4) Блок питания 5) Гидрофобные фильтры

### **Воссоздание настенного светильника**

Настенный светильник состоит из 3 цилиндров, имеющих ту же конструкцию, что и цилиндры люстры. Светильник с такой конструкцией не только обладает большей эффективностью по сравнению с нынешним, но решит проблему бликов на стенах балкона (см. рис. 18), так как радиатор является еще и экраном для паразитного излучения, попадающего на стену. Светораспределение такого одного цилиндра представлено на рис. 64б. По расчетам, приведенным в пункте 4.4 каждый цилиндр должен излучать световой поток 500 лм.

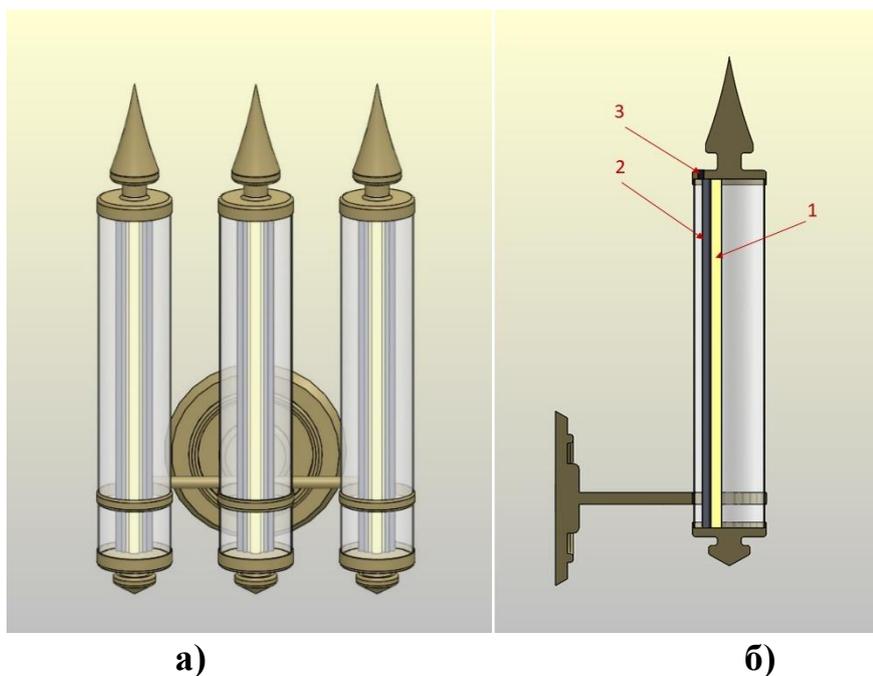


Рис. 63. Модель настенного светильника. а) Вид спереди  
 б) Разрез вертикально проецирующей плоскостью 1 - Светодиодный модуль, 2 – Радиатор, 3 - Гидрофобный фильтр

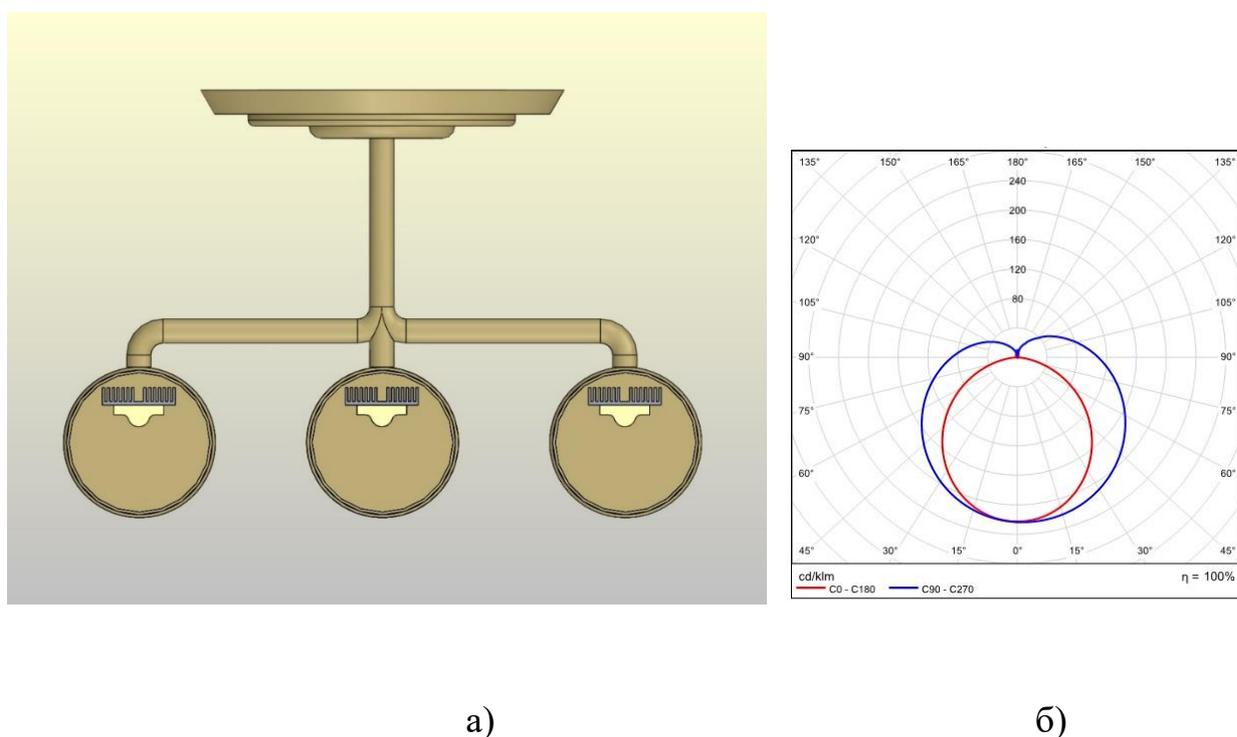


Рис. 64. а) Модель настенного светильника. Разрез горизонтальной плоскостью, вид сверху б) КСС одного цилиндра

## Воссоздание потолочного плафона

Такие плафон устанавливаются в больших кессонах Северного и Южного аванзалов. Источником света для ОП будет светодиодный модуль. По расчетам, приведенным в пункте 4.4 каждый плафон должен излучать световой поток 3000 лм. Блок питания и светодиодный модуль устанавливается на радиатор, а радиатор в свою очередь крепится на потолок. В плафоне предусмотрен специальный гидрофобный фильтр, позволяющий воздуху свободно циркулировать, но не пропускающий воду внутрь светильника, за счет чего обеспечивается степень защиты IP 45.

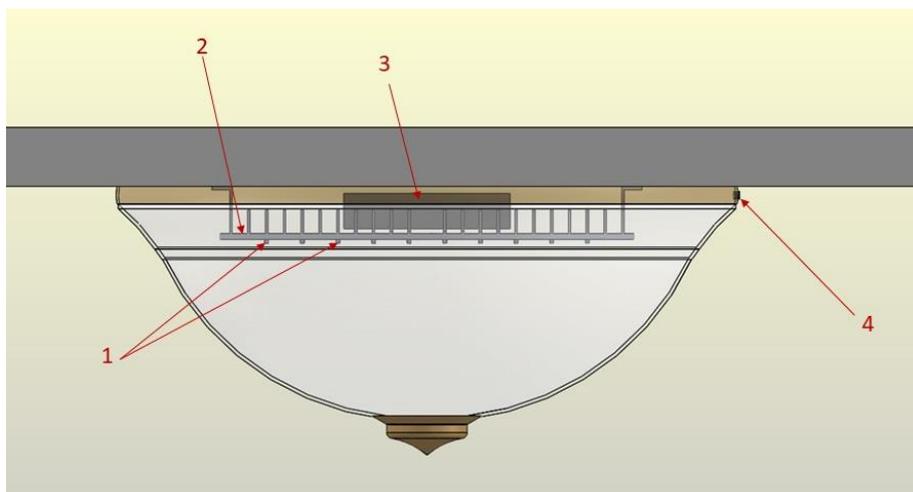


Рис. 65. Схема потолочного плафона 1 - Светодиодный модуль, 2 - Радиатор  
3 - Блок питания, 4 - Гидрофобный фильтр

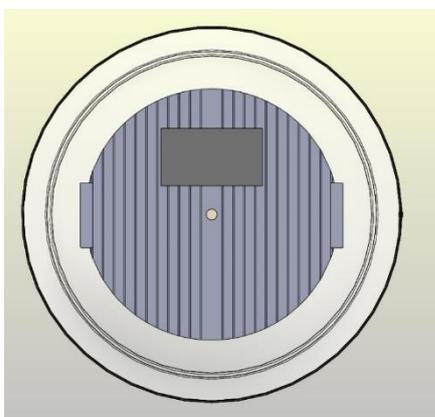


Рис. 66. Модель потолочного плафона, вид сверху

## 4.2. Реконструкция сохранившихся световых приборов

### Реконструкция составного светильника

Составные светильники установлены в групповых кессонах платформенного зала. Светильники, которыми в настоящее время освещается станция, очень похожи на светильники 1935 г., поэтому их можно не заменять, а модернизировать. Нижняя часть светильника имеет одинаковую конструкцию с полукруглыми плафонами, конструкция которых была описана ранее, что очень удобно. Световая часть составного плафона состоит из двух радиаторов с установленными на них светодиодными модулями, направленными в разные стороны. Блок питания находится между двумя радиаторами. В крышке составного плафона предусмотрен специальный гидрофобный клапан, позволяющий воздуху свободно циркулировать, но не пропускающий воду внутрь светильника, за счет чего обеспечивается степень защиты IP 45.

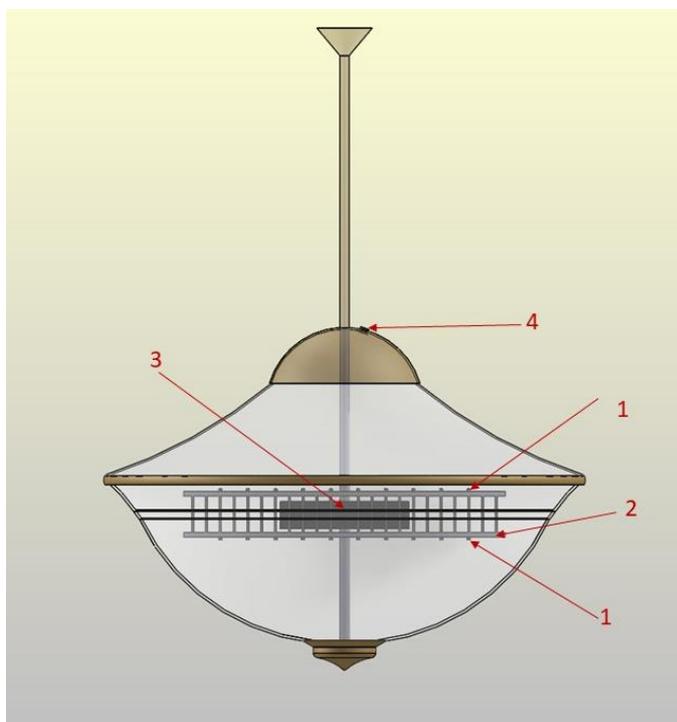


Рис. 67. Модель составного плафона. 1) Светодиоды 2) Радиатор 3) Блок питания 4) Гидрофобный фильтр

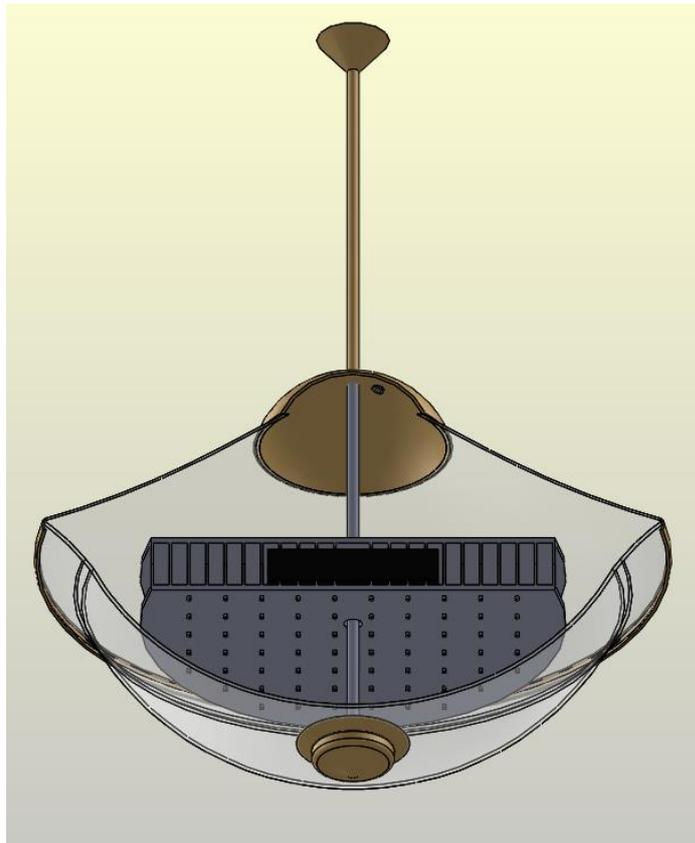


Рис. 68. Модель составного плафона. Изометрия – разрез вертикально проецирующей плоскостью

## **5. Исследование особенностей освещения майолики Лансере и разработка необходимого оборудования**

### **5.1. Анализ условий формирования бликов на поверхности майолики**

Станция «Комсомольская - радиальная» была первой, где в целях архитектурного декора использовалось композиционно законченное художественное произведение – панно, выполненное по эскизам Е.Е. Лансере [16] с очевидной идеологической нагрузкой «участие комсомола в строительстве метро» (предполагалось четыре, выполнено только одно). Несущим основанием панно послужила полуцилиндрическая стена северного аванзала. В качестве материала была выбрана цветная майоликовая плитка, выполненная подглазурованными красками и покрытая слоем прозрачной глазури, которая после обжига придает блеск и яркость цветовому решению.

При этом, поскольку поверхность майолики глянцевая (средний коэф. отражения 0.2, коэффициент зеркального отражения 0.05), в ней отражаются, находящиеся рядом светильники, образующие блики достаточно высокой яркости, расположенные непосредственно на фрагментах фигур, исключая общее восприятие композиции. Устранение этих бликов или, по меньшей мере, снижение их влияния на восприятие майолики послужило основной задачей этой работы. Внешний вид панно показан на рис.69



Рис.69. Северный аванзал станции метро «Комсомольская».

На рис.4. показано как выглядит майолика с бликами и без них. Здесь необходимо отметить, что нынешний облик станции весьма отличается от первоначального, как по уровню освещенности на полу, которая была на уровне 50 лк, а сегодня все равно не дотягивает до современных требований 130 лк вместо 200 лк по [4], так и по значениям CRI, которые ниже 80 из-за использования люминесцентных ламп, да и по состоянию ОУ, неизбежно требующей новой реконструкции на современном уровне. Вот здесь то и возникает главное противоречие, поскольку современные санитарные нормы требуют увеличения освещенности на полу аванзала, что неизбежно приведет к увеличению яркости бликов. Более того, проведение реконструкции по требованию метрополитена должно осуществляться в рамках сохранения объектов культурного наследия, а это означает, что освещать станцию можно исключительно приборами, идентичными оригинальным приборам 1935 г.

а)



б)



в)



г)



Рис.70. Внешний вид майолики а) левая часть с бликами, б) левая часть без бликов, в) правая часть с бликами, г) правая часть без бликов.

Очевидно, что разрешение обозначенных противоречий требует разработки принципиально нового ОУ, осуществление которой потребовало проведение экспериментальных исследований необходимых для расчетов соотношений яркости бликов на майолике к яркости самой майолики, которой они визируются.

## 5.2. Экспериментальные исследования яркости цилиндрической поверхности майолики

Измерения яркости бликов по отношению к яркости майолики осуществлялись при помощи яркомера LMK Mobile Advance [17], построенного на базе фотокамеры Canon. Его технические характеристики показаны в таблице 12.

Таблица 12. технические характеристики яркомера LMK Mobile Advance

Наименование	LMK Mobile Advanced
Внешний вид	
Разрешение (эффективные пиксели)	2136*1424
Диапазон измерений яркости кд/м <sup>2</sup>	0,1-10000
Допускаемая относительная погрешность измерений, %	±5
Номер в государственном реестре средств измерений	55241-13

Кроме того, эта модель яркомера позволяет получить наглядную картину распределения яркостей в поле зрения, а его программное обеспечение обрабатывать измерения (определять яркость в точке или среднюю яркость по области, выводить изображение в псевдоцветах и др.), таким образом, сделав всего несколько снимков, можно получить всю необходимую информацию. Внешний вид яркомера LMK Mobile Advanced показан в таблице 1

Измерения проводились с характерных видовых точек А, Б и В, расположенных рядом с колоннами, как это показано на рис 5. Результаты измерений представлены на рис. 6, и в таблице 2 соответственно.

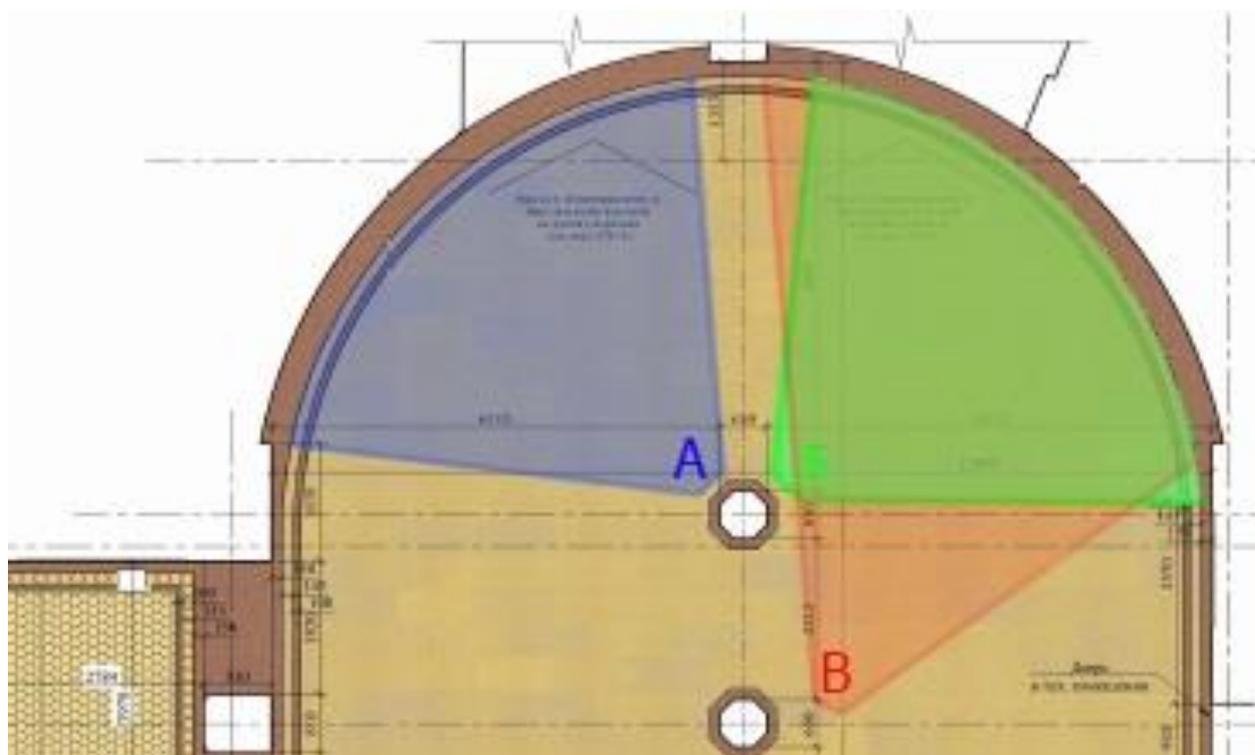


Рис.71 Характерные точки наблюдения майолики

Анализ результатов измерений показывает, что яркость блика превышает яркость соседней области в 3-10 раз.

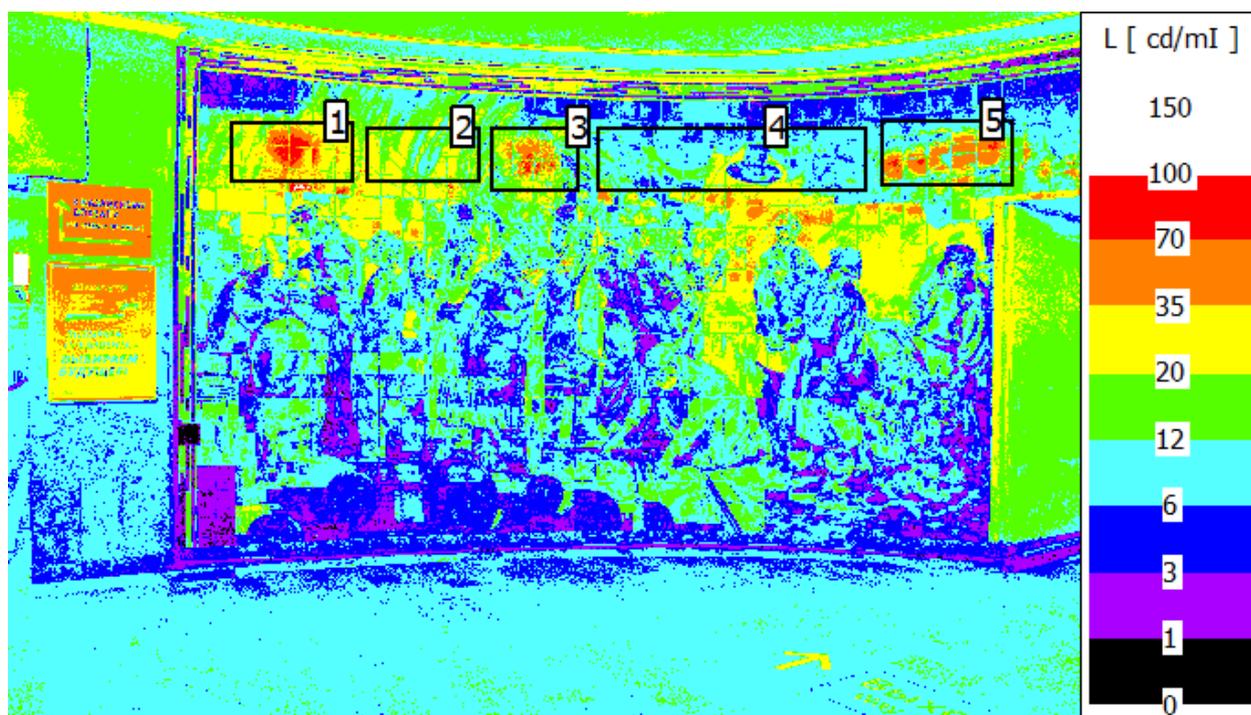


Рис.72. Распределение яркостей по правой части майолики, наблюдаемой с точки А

Таблица 13. Значения яркости в различных областях левой части майолики, для рис.72.

Область	Яркость, кд/м <sup>2</sup>		
	L <sub>min</sub> ,	L <sub>max</sub> ,	L <sub>средняя</sub> ,
1	8,4	92,4	33,2
2	4,2	65	18,6
3	1,5	84,7	23,3
4	1,8	49,6	9,8
5	1,5	80	25

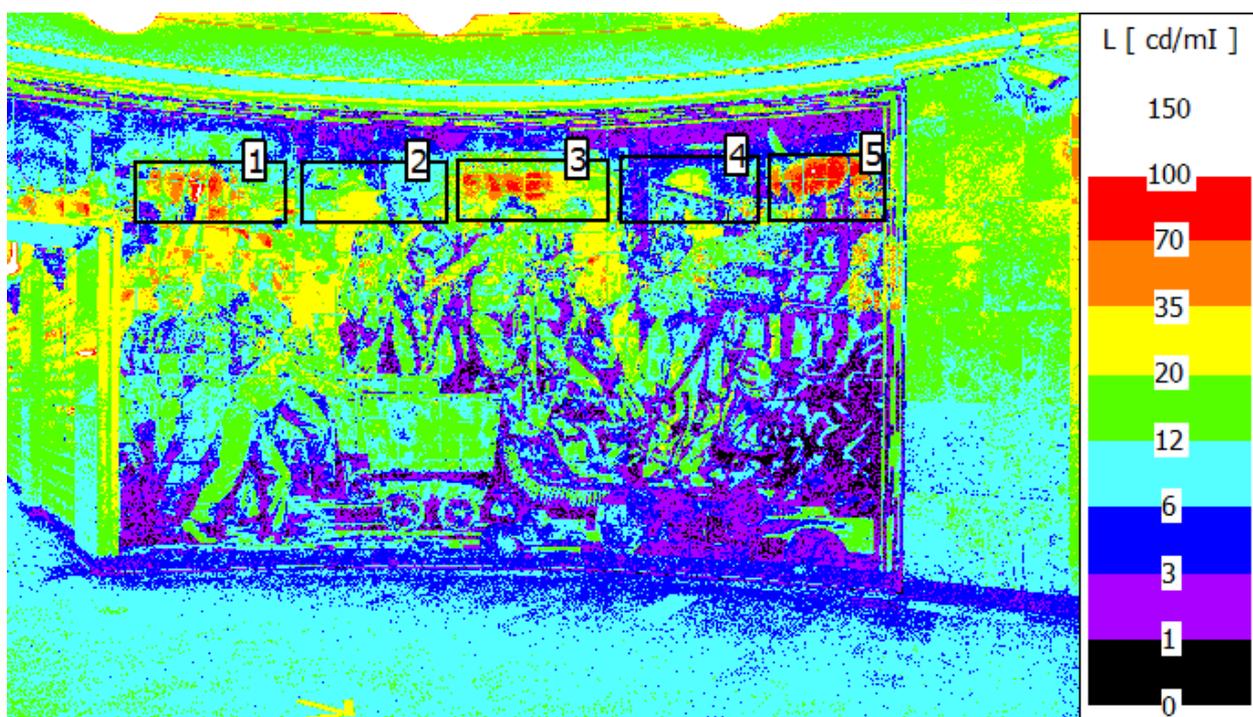


Рис. 73 Распределение яркостей по правой части майолики наблюдаемой из точки Б

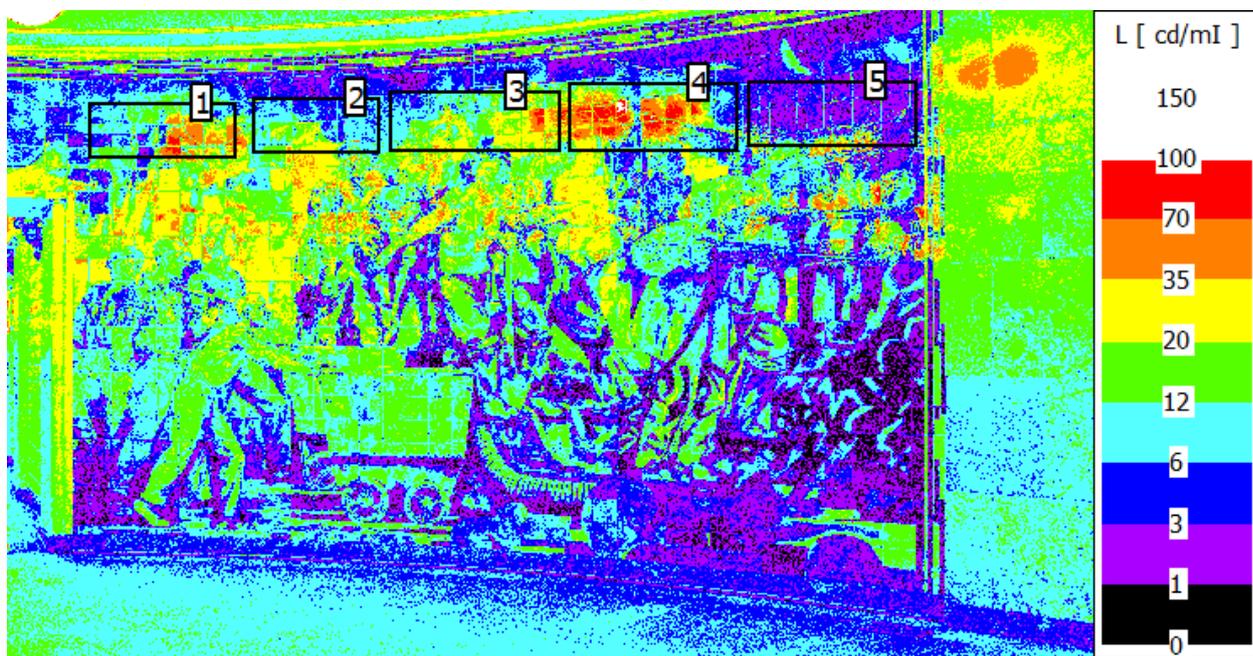


Рис. 74. Распределение яркостей по правой части майолики, а наблюдаемой из точки В.

Таблица 14. Значения яркости в различных областях майолики, для рис.73-74.

Область	Яркость, кд/м <sup>2</sup>		
	L <sub>min</sub> ,	L <sub>max</sub> ,	L <sub>средняя</sub> ,
1 рис.73	0,1	131,6	22,6
2 рис. 73	1,0	67,3	13,0
3 рис. 73	1,1	94,5	26,2
4 рис.73	0,2	93,6	8,7
5 рис. 73	0	112,8	29,8
1 рис. 74	0,2	108,3	19,2
2 рис. 74	0,8	86,5	10,5
3 рис. 74	0,5	93,0	17,7
4 рис. 74	0,2	129,5	28,9
5 рис. 74	0,1	66,8	5,6

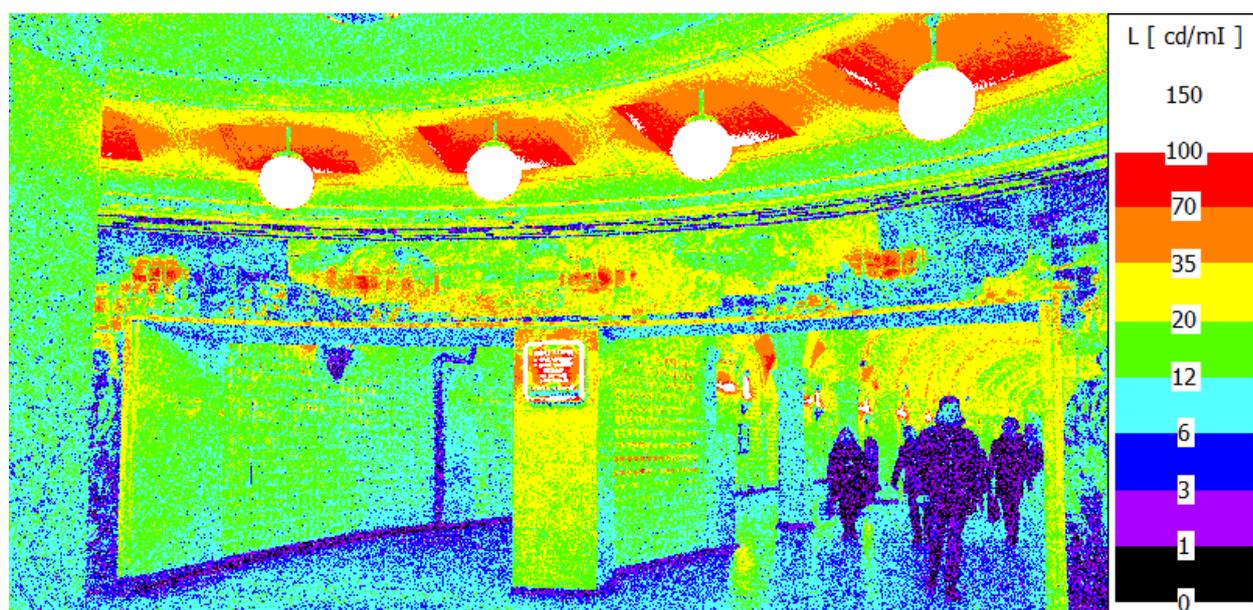


Рис. 74. Распределение яркостей по части майолики над переходом.

### 5.3. Исследование путей борьбы с бликами

Работа зрительного аппарата человека носит адаптивный характер. При этом критерием восприятия зрительной обстановки является яркость в поле зрения [18], именно эту роль выполняют блики, поскольку, по сути представляют собой пятна повышенной яркости, в разы превосходящее яркость поля окружения.

Очевидно, что одним из важнейших факторов восприятия изображений фрески, мозаики, майолики, особенно при их искусственном освещении, служит взаимное расположение наблюдателя относительно объекта, а, следовательно, и светового прибора его освещающего. При идеальном освещении положение наблюдателя, как правило, определяется только композицией изображения, однако чаще всего световые приборы вмешиваются в этот процесс, создавая на рассматриваемой поверхности бликующие участки и чем их больше, тем ниже качество освещения. В результате наблюдатель, перемещаясь относительно объекта, определяет положение, при котором их влияние на восприятие работы минимально. Поэтому, особенно это касается больших работ, при освещении которых избавиться от бликов полностью в условиях метрополитена, практически невозможно, очень важно минимизировать их влияние при наблюдении с максимально возможной площади. Таким образом, наряду с характеристиками КСС ОП, важнейшими параметрами системы, формирующими блики, являются геометрические соотношения, определяющие взаимное положение ОП и объекта, а также характеристики поверхности объекта, отражающего излучение ОП. При этом необходимо помнить, что яркость не зависит от расстояния, поэтому перенести плафон дальше от панно, которое он освещает, то площадь блика уменьшится, но яркость его останется неизменной [19].

У диффузно-глянцевых поверхностей, таких как мозаики и майолики, индикатриса отражения состоит из двух составляющих – диффузной и зеркальной. При освещении этих поверхностей необходимо сделать так, чтобы наблюдатель видел только диффузную составляющую, для чего нужно определить возможные положения наблюдателя, условия его восприятия картины или мозаики, т.е. под какими углами она будет бликовать, под какими нет, величину его площади и значения яркости.

Если у прибора, формирующего блик узкое светораспределение, характерное для осветителей прожекторного типа с зеркальными отражающими поверхностями, угол падения излучения должен быть максимально большим, при таком способе освещения зеркальная составляющая отражения попадает в пол, а не в глаза наблюдателя (рис.75а).

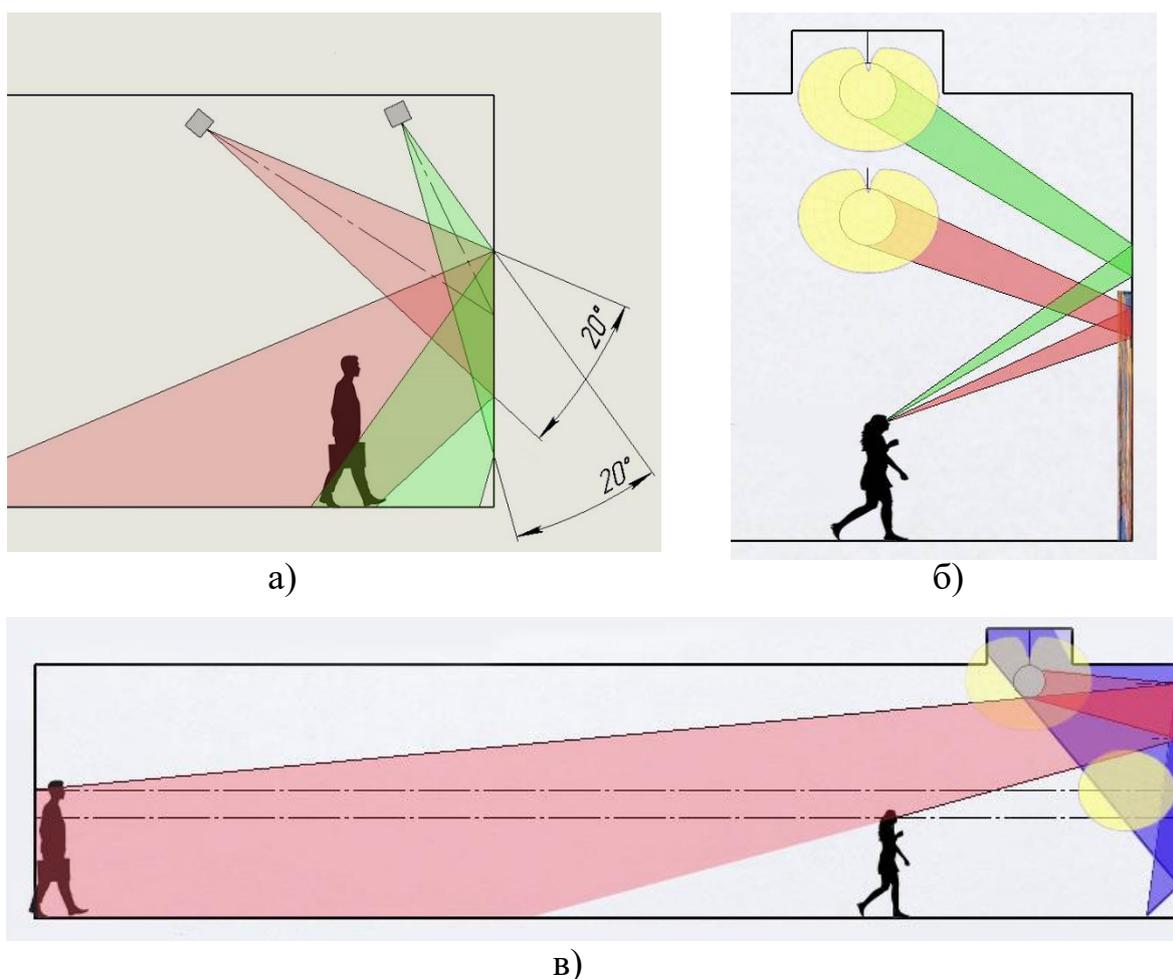


Рис.75. Влияние расположения ОП на формирование бликов, а) освещение под разными углами, б) высоты подвеса, в) освещение снизу.

Если же светораспределение прибора широкое, свойственное диффузно рассеивающим поверхностям, например, матовый плафон, по возможности, нужно увеличить высоту подвеса таким образом, чтобы он не отражался в мозаике (показано на рис.75б).

Анализ ситуаций, при которых формируются блики, приводят к заключению, что существует, несколько основных принципов борьбы с бликом: первый, наиболее радикальный, полностью исключаящий за счет хода лучей его визирование - освещение объекта снизу, второй - уменьшение яркости блика, третий - увеличение яркости адаптации, четвертый – изменение положения блика относительно основного изображения, пятый уменьшение размеров блика.

Первый способ, реализуемый с помощью дополнительных светильников, расположенных снизу [20] (показан на рис.75в), обеспечивает падение зеркальной составляющей отраженного пучка на потолок, при том, что диффузная составляющая, отраженная панно, увеличит его яркость, увеличивая, таким образом, яркость адаптации, и блик станет менее заметным или вообще исчезнет. Естественно этот способ освещения предполагает использование светильников с высоким IP, защищенных от механических повреждений. Кроме того, такой монтаж ОП значительно сокращает полезную площадь стационарного пространства. К сожалению, перечисленные факторы не позволяют использовать такие ОУ в метрополитене, хотя этот способ устранения бликов один из самых эффективных.

Второй способ, может быть реализован в ситуации, когда ОП не только освещает панно, но и является функциональным источником света, что позволяет применить прибор с асимметричным светораспределением, так называемые «кососветы» [21]. Это также может быть светильник, плафон которого обладает пониженной яркостью со стороны, находящейся ближе к мозаике (майолике).

Третий – удастся реализовать, переносом акцента освещения, например, расположением осветителя внутри колоны, как это сделано при освещении мозаики на станции «Проспект мира» (см. рис.2)



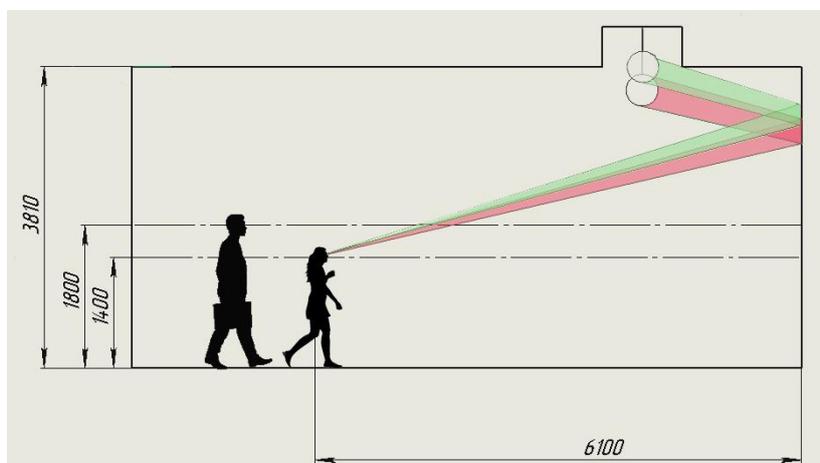
Рис.76. Освещение мозаики в вестибюле станции «Проспект мира».

Четвертый способ требует, как правило, изменения относительного положения ОП относительно объекта, что в ряде случаев может оказаться вполне приемлемым.

Пятый – реализуется заменой, используемого ОП, на прибор другой конструкции или существенным изменением расстояния до освещаемого объекта, что при реконструкции световых приборов на объектах культурного наследия не допускается.

## 5.4. Устранение блика

Геометрические расчеты показывают, что положительные результаты дает увеличение высоты подвеса светильника, как это показано на рис.7а. Это возможно, поскольку изначально светильники висели выше, чем сейчас (в 1935 г. светильник на половину находился в кессоне), что подтверждает фото см. рис.7б, тогда верхняя часть светильника будет заслоняться кессоном. В результате блик уменьшится в размерах на 4 см и сдвинется вверх на 20 см, а кессон приобретет четкие очертания. Перемещение области блика положительно сказывается на восприятии майолики, так как блик перемещается из сюжетной области, на которой изображены метростроевцы в менее важную область фона (см.рис.77а, 78-79).



а)



б)

Рис. 77. Схема изменения положения и размера блика а) геометрические размеры, б) Фото аванзала станции «Комсомольская» 1935 г.



Рис.78 Требования к расположению бликов на левой части майолики, зеленая – область, где допустимо наличие блика, красная - область, где наличие блика не допустимо.

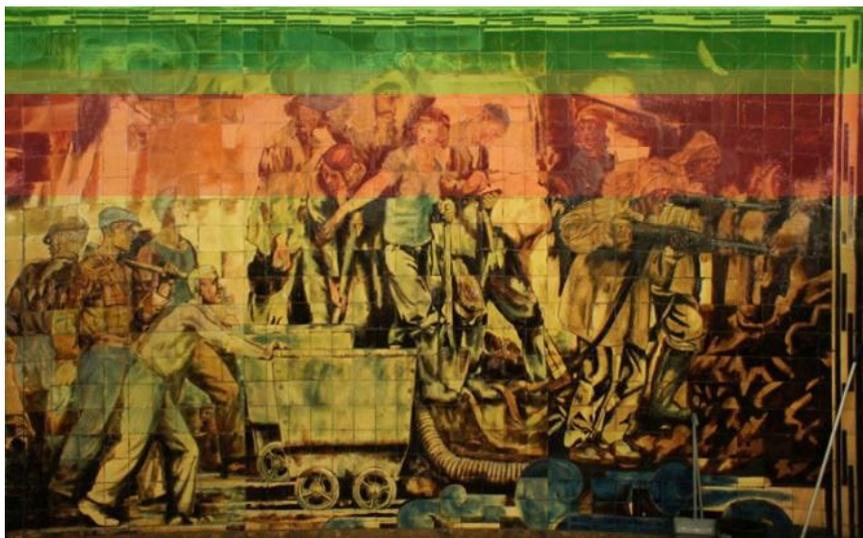


Рис.79 Требования к расположению бликов на правой части майолики, зеленая – область, где допустимо наличие блика, красная - область, где наличие блика не допустимо.

### **Выбор точек обзора**

Как уже отмечалось, полностью убрать блик для всех точек обзора практически невозможно, поскольку в зависимости от положения

наблюдателя блик меняет свое положение (см.рис.6), но можно существенно снизить яркость блика при просмотре из части вестибюля, показанной на рис. 9.

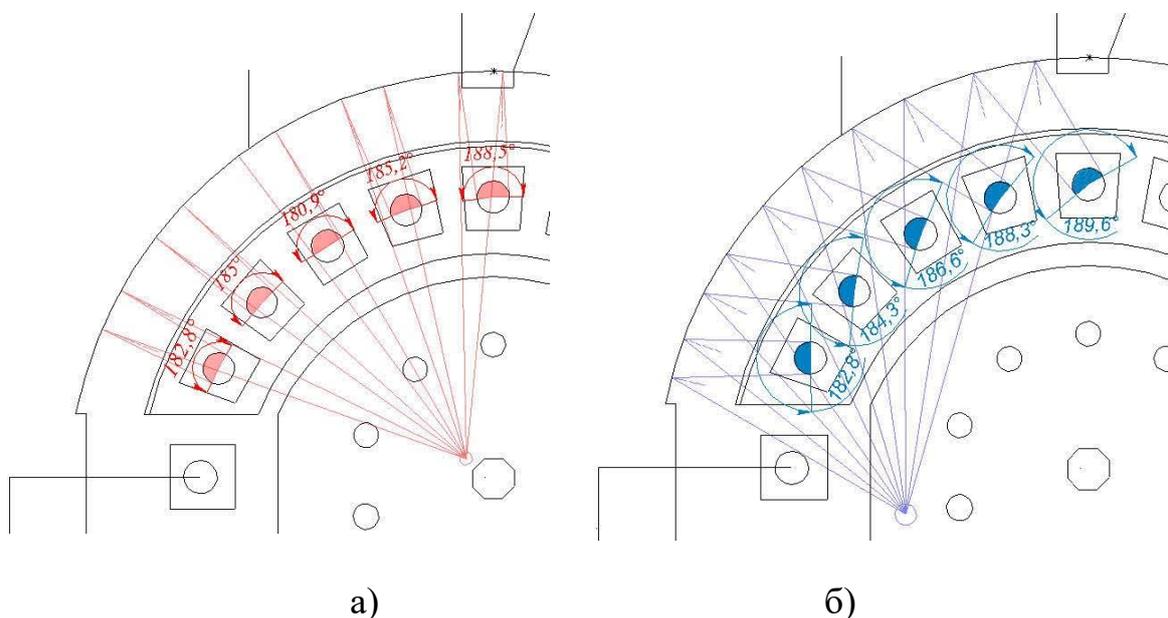


Рис.80 Геометрические построения для определения сегмента светильника, создающего блик. а) Точка наблюдения 1, б) Точка наблюдения 2

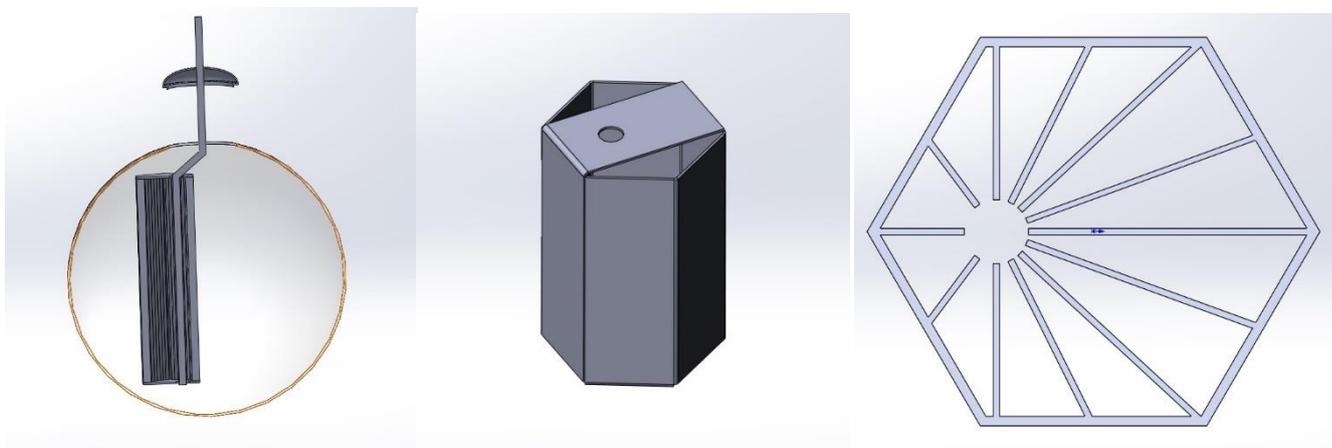
Геометрические расчеты (см. рис.10) показывают, что при просмотре майолики с этих точек вы видите отражение сегмента светильника  $180 - 190^\circ$ . Если снизить яркость этой части плафона, то и яркость блика существенно уменьшится.

## 5.5. Разработка конструкции светильника для устранения блика

### 5.5.1. Первый способ

Шестигранный радиатор с установленными на него светодиодными модулями устанавливается внутри рассеивателя. Оси радиатора и сферы параллельны друг другу, но находятся на некотором расстоянии. Основная идея такой конструкции в том, что при одинаковом потоке все СМ, светораспределение светильника будет асимметричным. Для такого

светильника не требуется сложный и дорогой блок питания, и модернизация рассеивателя. Радиаторы могут изготавливаться как путем экструзии, так и штамповкой из листового материала.



а)

б)

в)

Рис. 81. а) Принципиальная схема модернизации ОП б) Штампованный радиатор из листового материала в) радиатор, изготовленный по технологии экструзии

### 5.5.2. Второй способ

Изнутри рассеиватель покрывается частично-пропускающим покрытием (пленкой или напылением), как показано на рисунке. Такое покрытие уменьшает яркость части плафона, находящего ближе к майолике и создающей блик. Внутри плафона устанавливается радиатор, с установленными на него светодиодными модулями, световым потоком каждого СМ можно управлять отдельно.

Достоинствами такой конструкции является ярко выраженная асимметричность светораспределения, зависящая от коэф. пропускания покрытия ( $\tau$ ) и соотношений световых потоков ( $\Phi_v$ ) между светодиодными модулями.

Недостатками такой конструкции является сложность изготовления плафона с покрытием, а также то, что при работе светильника будет заметен резкий перепад яркости плафона. Еще одним недостатком является необходимость в сложном дорогостоящем источнике питания.

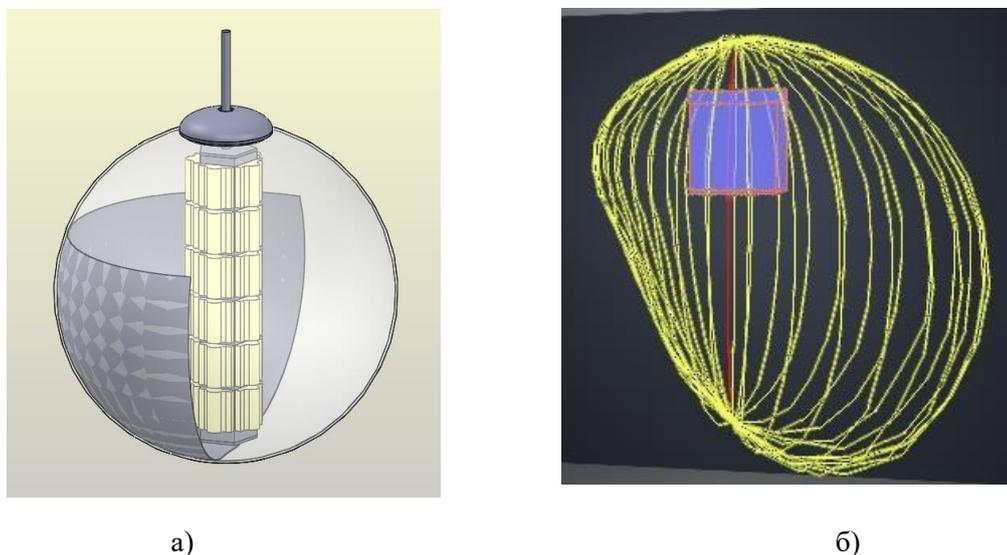


Рис. 82. а) Принципиальная схема модернизации ОП б) Светораспределение ОП

### 5.5.3. Третий способ

Данные полученные путем геометрических построений, позволяют сформулировать принцип построения конструкции светильника, в которой (см.рис.83) в плафон из молочного стекла устанавливается радиатор в виде треугольной призмы. На 2 стороны радиатора установлены светодиодные модули с удаленным люминофором. Такие модули обладают хорошими количественными и качественными показателями (световая отдача - 111,5 лм/Вт,  $R_a > 90$ , косинусное светораспределение, не имеют характерного для СД ярко выраженного пика в коротковолновой части спектра [22], показанного на рис.11). В результате, одна половина шара освещается светодиодными модулями, а другая только за счет многократных отражений

внутри шара. Схема работы такого светильника приведена на рис.83а. Расчеты в программе Photoria [23] показывают, что светильник предлагаемой конструкции будет обладать асимметричным светораспределением, которое представлено на рисунке 83. При расчетах в качестве материала рассеивателя был выбран оптический поликарбонат Makrolon Lumen XT LW5, с  $\tau = 0,83$ .

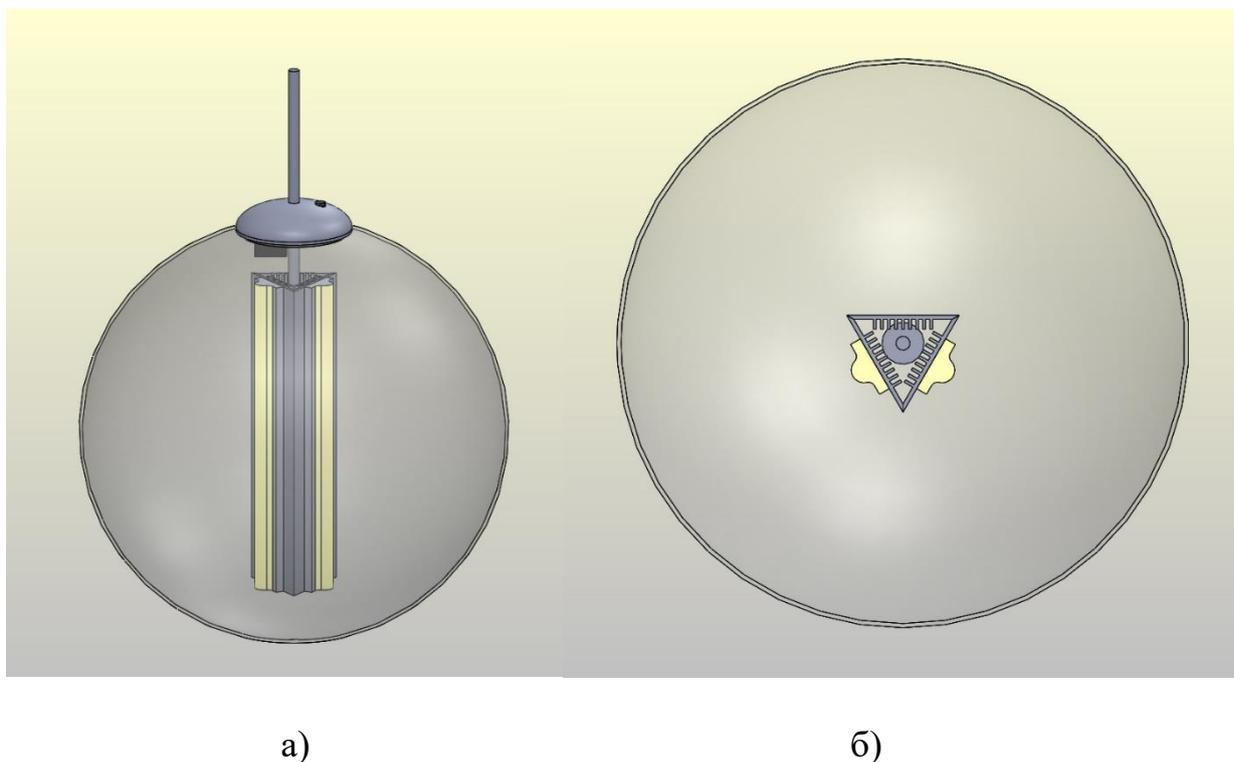


Рис. 83. а) Схема устройства, модернизированного ОП, б) Горизонтальное сечение модернизированного светильника

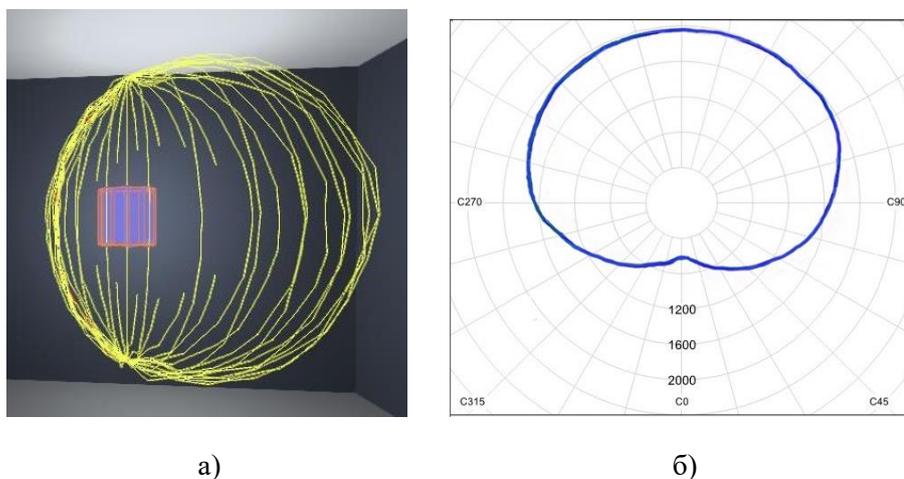


Рис. 84. а) Фотометрическое тело, модернизированного ОП б) горизонтальное сечение фотометрического тела, модернизированного ОП

В качестве источника света для ОП выбраны СМ Люценди, за их универсальность в применении, поскольку их можно использовать как в светильниках, так и отдельно для освещения карнизов, но при необходимости вместо них можно использовать линейные СМ.

### Характеристики

- Световая отдача модуля – 115 лм/Вт
- IP 65
- $T_{цв}$  2700 К – 5 000 К
- Ra 80 – 90
- Длина 140 – 560 мм с шагом 30 мм
- Рабочий ток 350/700 мА
- Косинусное светораспределение
- Отсутствие пика в коротковолновой области спектра



Рис. 85. Фото СМ Люценди

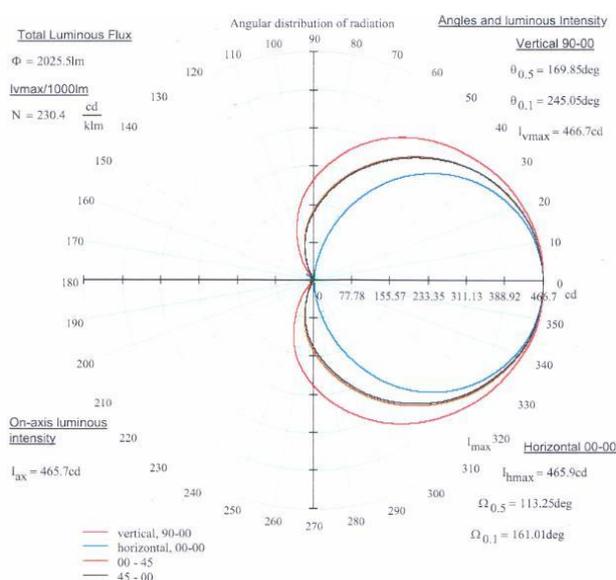
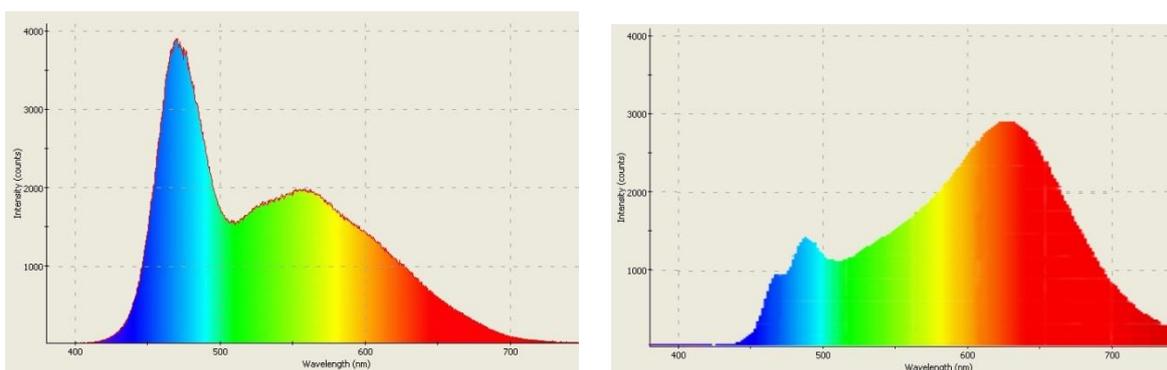


Рис. 86. КСС СМ Люценди

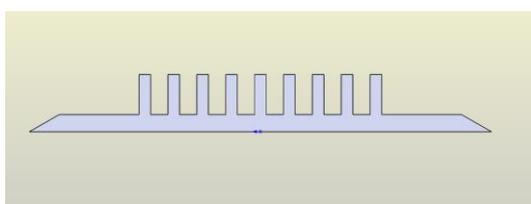


а)

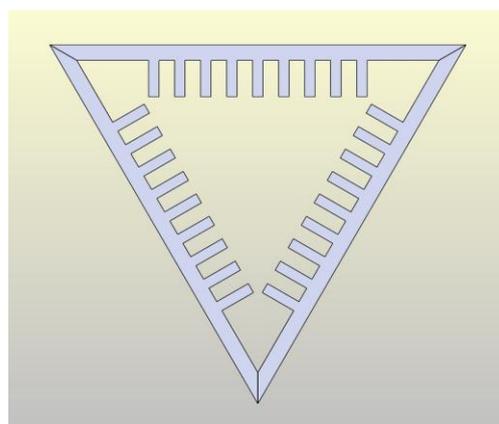
б)

**Рис.87.** Спектральные характеристики используемых светодиодных ламп а) Спектр СИД б) Спектр СМ с удаленным люминофором

Радиатор в форме треугольной призмы для такой конструкции может быть сварен из трех линейных. Линейные радиаторы можно легко изготовить на экструдере или выфрезеровать из стандартных радиаторов, выпускаемых промышленностью.



а)



б)

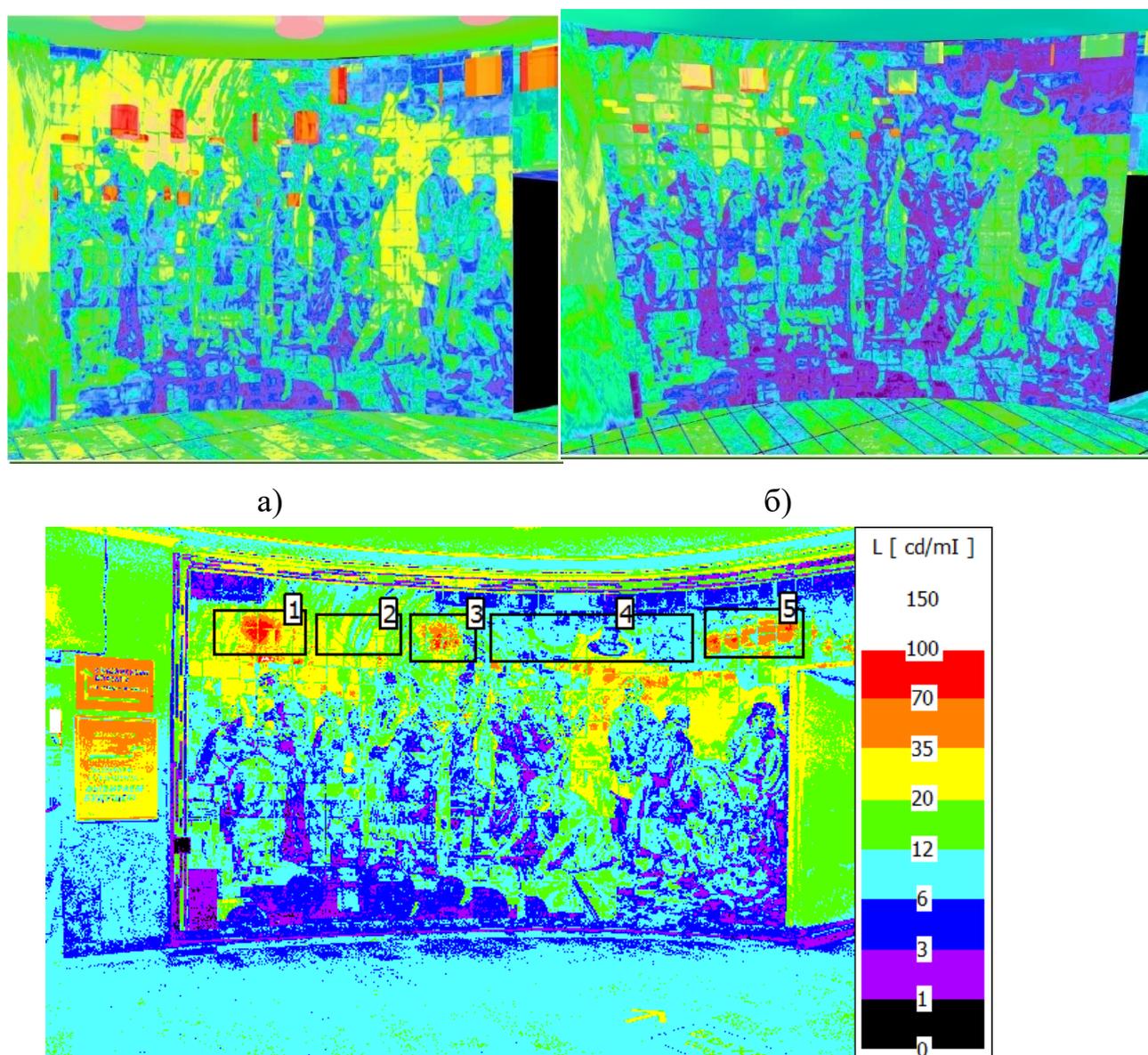
**Рис.88.** а) линейный радиатор, б) радиатор – в форме треугольной призмы

## 5.6. Моделирование освещения майолики

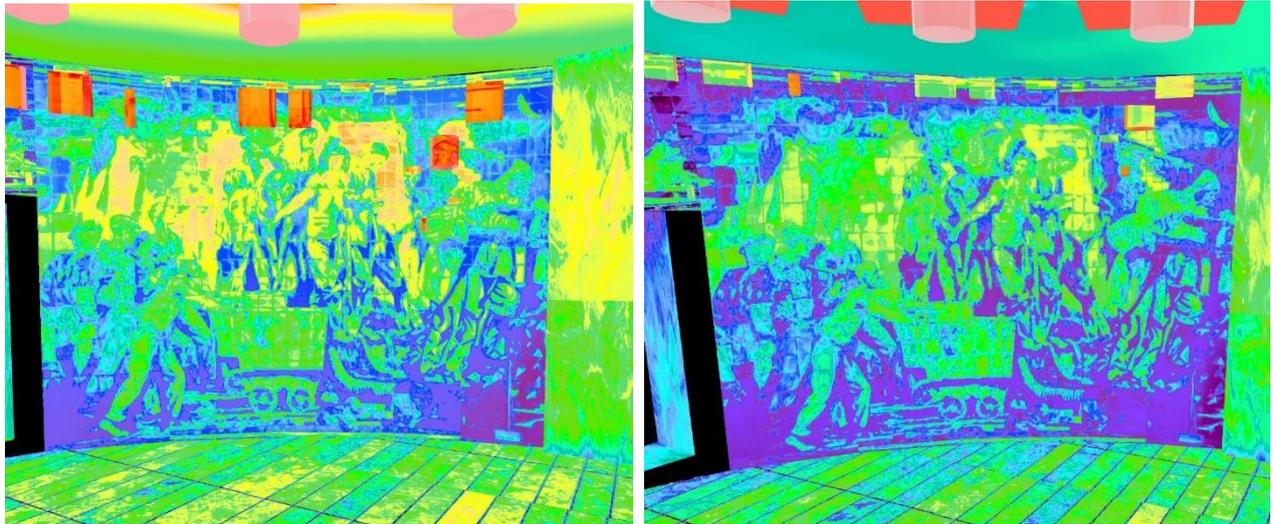
Для проверки этой гипотезы в программе Dialux Evo 7 [24] были смоделированы действующая и модернизированная ОУ. Для каждой модели,

методом трассировки лучей, было рассчитано распределение яркости по майолике. Расчеты показывают, что за счет использования светильника с асимметричным светораспределением, можно уменьшить яркость блика в 2 раза, и «сдвинуть» блики вверх (за счет увеличения высоты подвеса светильника) в зону, где они не мешают прочтению композиционного решения.

Результаты моделирования и сравнение их результатами измерений представлены на рис.89-91

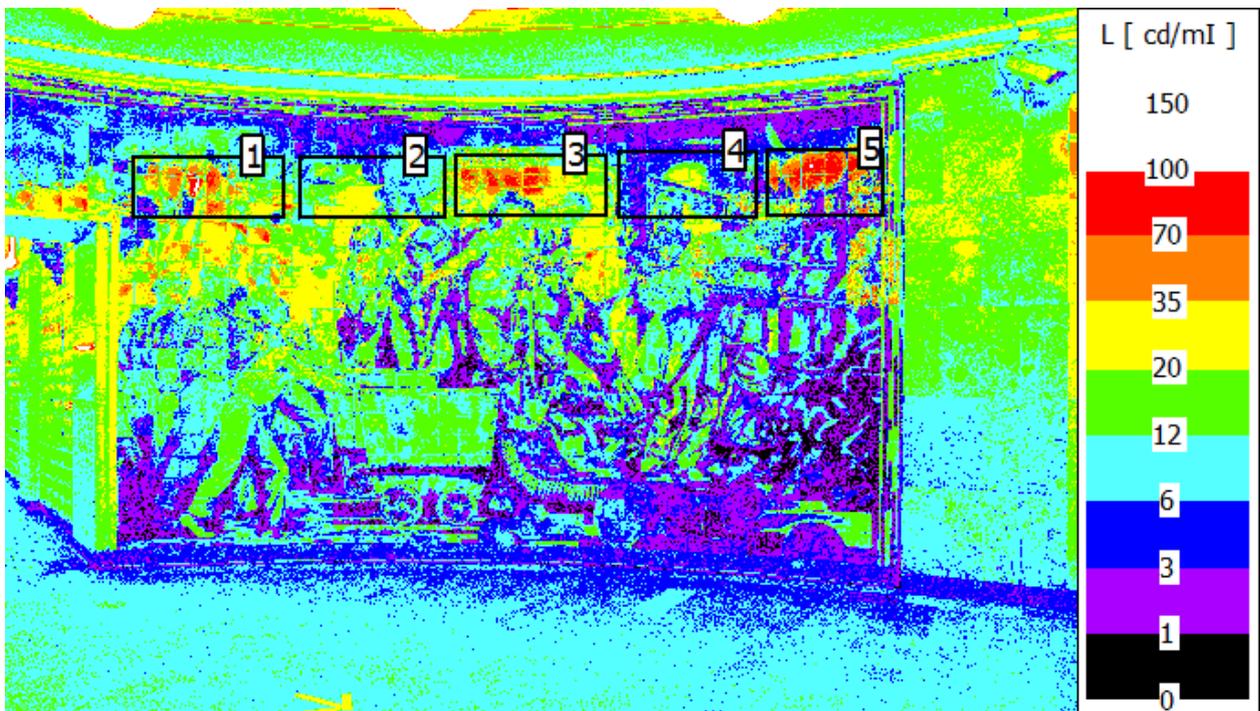


**Рис. 89.** Моделирование ОУ в программе Dialux Evo 7, а) действующей, б) новой, в) Результаты измерений яркости с точки А



а)

б)



в)

Рис. 90. Моделирование ОУ в программе Dialux Evo 7, а) действующей, б) новой, в) Результаты измерений яркости с точки Б

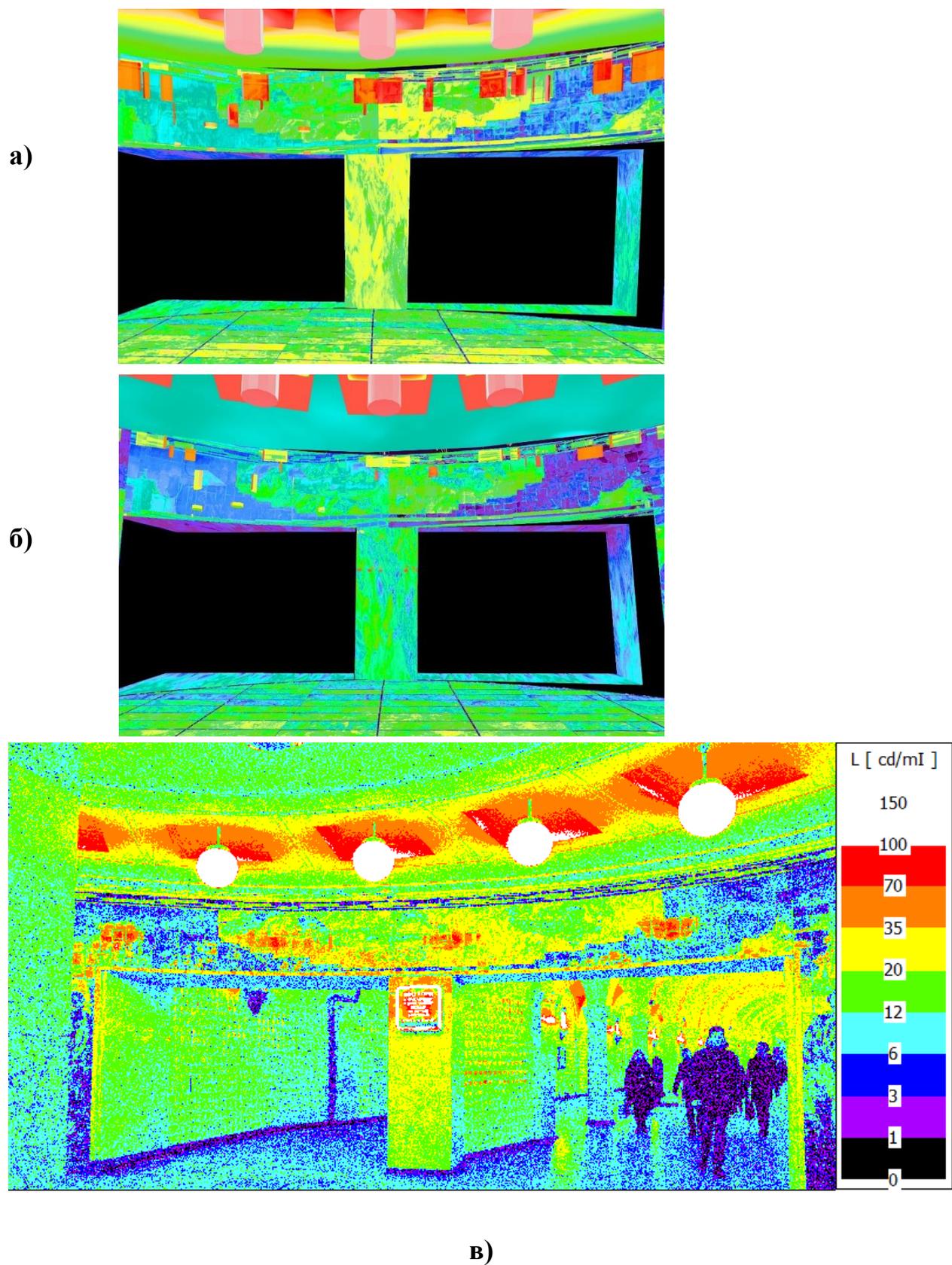


Рис. 91. Моделирование ОУ в программе Dialux Evo 7, а) действующей, б) новой, в) Результаты измерений части майолики над проходом

## **Выводы**

В результате измерений освещенности на станции Комсомольская радиальная, было выявлено несоответствие освещения санитарным нормам. После чего была разработана новая ОУ на базе исторических приборов, модернизированных светодиодными ИС. Расчетное энергопотребление новой ОУ на 34% выше чем у существующей, при этом создаваемая ею освещенность в 2,5 выше.

Были сформулированы требования к модернизированным ОП, и наглядно показаны принципы модернизации каждого ОП.

В результате исследования распределения яркости на майолике установлено: Источниками бликов являются плафоны ОП, которые отражаются от глянцевой поверхности панно.

Уровень яркости бликов достигает  $142 \text{ кд/м}^2$ , при средней яркости майолики  $10-15 \text{ кд/м}^2$ .

В зависимости от положения наблюдателя блики находятся на высоте от 2 до 3,5 м, закрывая при этом сюжетную часть композиции.

В результате анализа причин, вызывающих блики были сформулированы требования к положению ОУ и конструкции ОП.

Проведено моделирование распределения яркости по поверхности майолики

По результатам разработки уменьшена яркость, размер бликов и изменено их положение из сюжетной зоны в зону фона, обеспечивающее комфортное прочтение композиционного замысла

## Список используемой литературы

1. «Гигиена труда» Учебник для вузов под редакцией Н.Ф. Измерова, В.Ф. Кириллова, Москва, Издательская группа «ГЭОТАР-МЕДИА» 2008г.
2. «Гигиена окружающей среды» под ред. Г.И. Сидоренко АМН СССР –М, Медицина 1985г.
3. Ежов А.И. Московский метрополитен. М., Знание. 1953
4. Н.В. Горбачев, Е.С. Ратнер «Освещение московского метро». Светотехника №1, 1935г. с.2...11
5. Кравец С.М. Архитектура московского метрополитена им. Л. М. Кагановича. М., Всес. Акад. Архитектуры, 1939
6. Катцен И. Е., Рыжков К.С. Московский метрополитен. М., Акад. архитектуры СССР, 1948
7. Каганович Л. М. О строительстве метрополитена и плане города Москвы. М., Московский рабочий, 1934
8. «Результаты оценки профпригодности сотрудников метрополитена за 6 месяцев 2015г. (10530 человек).
9. Новаковский Л.Г. «Освещение подвижного состава – ключевая задача формирования световой среды метрополитена». Светотехника №4. 2011г
10. ГОСТ Р 52 232- 2004. Вагоны метро. Общие технические условия.
11. Новаковский Л.Г. «Правильное освещение эскалатора – набор радикальных решений» Светотехника №4. 2011г
12. «Гигиена труда» Учебник для вузов под редакцией Н.Ф. Измерова, В.Ф. Кириллова, Москва, Издательская группа «ГЭОТАР-МЕДИА» 2008г.
13. «Гигиена окружающей среды» под ред. Г.И. Сидоренко АМН СССР –М, Медицина 1985г.

14. Санитарные правила эксплуатации метрополитенов. СП-32-105-2004.
15. [www.solidworks.ru](http://www.solidworks.ru)
16. И. Катцен «Метро Москвы» Московский рабочий. 1947г.
17. Приложение к свидетельству № 52728 об утверждении типа средств измерений Н.В.
18. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б.Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак.
19. Мешков В.В. Основы светотехники: Учебное пособие для вузов. Часть 2, Энергоатомиздат, 1989 г.
20. Ж-П. Мирас, Л.Г. Новаковский, М.Фонтуанон « Освещение «Моны лизы» новые световые решения. Светотехника №5, 2005г.
21. Мешков В.В., Епанешников М.М. Осветительные установки. - М.: Энергия, 1973. - 360С.
22. Копцов В.А., Дайнего В.Н. «Синий свет светодиодов – новая гигиеническая проблема» . Анализ риска здоровью -2016, №1(13). С 15-25
23. [www.ltioptics.com/en/photopia-general-2017.html](http://www.ltioptics.com/en/photopia-general-2017.html)
24. [www.dial.de/en/home/](http://www.dial.de/en/home/)