

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
«МЭИ»**

Институт ИРЭ ЭТФ Кафедра Светотехника
Направление Электроника и наноэлектроника

**ЗАДАНИЕ НА МАГИСТЕРСКУЮ
ДИССЕРТАЦИЮ**

по программе подготовки магистров Теоретическая и прикладная
светотехника 21010

Тема: «Исследование способности светодиодов усиливать цвет объектов и
использование этого фактора при освещении галереи торгового центра»

Время выполнения работы с 2 ноября 2013 по 20 июня 2014

Студент Линде В.В. ЭР-04-08
Фамилия, и., о. группа подпись

Научный руководитель к.т.н. Лебедкова С.М.
должность, звание, фамилия, и., о. подпись

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» (ТУ) кафедра
«Светотехника»

Москва

« _____ » _____ 2014 г.

Оглавление

Введение	5
Цель работы	6
1 Освещение магазинов и торговых центров.....	7
1.1 Типы торговых помещений	7
1.3 Основные законы привлечения внимания покупателей к товару.....	12
1.4 Способы освещения магазинов и торговых центров	16
2 Способы получения белых СД.....	25
3 Проект освещения торгового центра.....	36
3.1 Архитектурная концепция торгового центра	36
3.2 Световое решение.....	41
4 Экспериментальная часть	62
4.1 Описание экспериментальной установки	62
4.2 Методика проведения эксперимента	69
4.3 Результаты эксперимента	76
5 Расчетная часть	85
Заключение.....	96
Список используемых источников	97
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	99
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	106
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	110
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	112

Список сокращений

ТЦ – торговый центр

ОУ – осветительная установка

СД – светоизлучающий диод

УФ – ультрафиолет

ИС – источник света

МКО – международная комиссия по освещению

Введение

Зрение – важнейший орган, способствующий восприятию окружающего мира, большую часть информации мы получаем именно с помощью глаз, а следовательно – благодаря свету, отраженному от окружающих нас поверхностей. Свет объективно влияет на физическое и эмоциональное состояние человека, на его восприятие окружающих предметов, помогает привлечь внимание к объектам, поэтому качественное освещение торговых залов – залог успеха и один из наиболее эффективных инструментов, позволяющих воздействовать на настроение покупателя. Комфортное освещение вызывает положительные эмоции, бодрит, прибавляет сил, таким образом увеличивая время пребывания клиента в торговом зале, что, конечно же, приводит к повышению продаж. Плохой свет в свою очередь может стать причиной усталости, раздражительности, плохого настроения и других неприятных ощущений. При проектировании освещения торговых залов необходимо не только соблюдение архитектурных требований, но и обеспечение наилучшего вида продаваемого товара, создание в помещениях светового комфорта.

Цель работы

Целью данной работы является:

- 1) Проведение обзора литературных данных и составление представления о современных тенденциях при проектировании освещения магазинов и торговых центров;
- 2) Выполнение проекта освещения торгового центра с учетом его архитектурной концепции, подбор оптимальных с технической и дизайнерской точки зрения светотехнических решений для разных его зон. Разработка концепции светодинамического «медиапотолка»;
- 3) Изучение существующей на кафедре светотехнической экспериментальной установки, имеющей возможность регулировать спектральную плотность потока излучения светодиодного осветителя; расчет пропорций смеси излучения 4х цветных светодиодов, необходимых для получения источников белого света с бую выбранными цветовыми температурами;
- 4) Проведение эксперимента с наблюдателями по оценке цвета с точки зрения его привлекательности;
- 5) Обоснование полученных экспериментальных данных расчетным путем с точки зрения насыщенности;
- 6) Обобщение полученных данных с точки зрения применения в проекте, анализ существующей светодиодной продукции ведущих производителей, составление рекомендаций по применению тех или иных источников при освещении цветных объектов

1 Освещение магазинов и торговых центров

1.1 Типы торговых помещений

Освещение магазинов (направление retail) – одно из крупнейших направлений работы большинства компаний, занимающихся проектированием освещения и продажей осветительного оборудования. Именно магазины – наиболее коммерчески выгодные объекты, такие светотехнические проекты могут быть весьма масштабными, прибыльными, а в дальнейшем и стать знаковыми, помогая сделать имя той или иной светотехнической компании.

Большинство менеджеров сходятся во мнении, что для хороших продаж товара его следует представлять в «нужном свете». По данным проведенных маркетологами исследований правильное освещение магазина повышает площадь обхода покупателями торгового зала на 53%, а продажи - на 27%. Однако, вопрос, какое освещение «правильное», что благоприятно влияет на покупателя, какие приёмы освещения заставляют его обратить внимание на товар, какие источники и приборы лучше использовать и как учитывать специфику освещаемой продукции – остается спорным.

Чтобы ответить на этот вопрос, для начала следует разобраться в основах организации торгово-розничного пространства [1].

Комплексный подход к организации торгово-розничного пространства включает в себя:

- определение концепции магазина,
- определение целевой аудитории,
- позиционирование магазина,
- соблюдение правил проектирования торговой площади,
- цветовое решение секций торгового зала,
- дополнительные мероприятия, стимулирование сбыта

Оптимально организованная планировка повышает оборот и прибыль торгового объекта и наоборот: ошибки здесь способны свести на нет всю его работу. В зависимости от системы расстановки оборудования в торговле используют различные виды технологической планировки торгового зала:

- линейная (решетка);
- боксовая (трек, петля);
- смешанная;
- свободная (произвольная)
- выставочная.

Линейная планировка торгового зала предполагает схемы размещения товаров и проходов для покупателей в виде параллельных линий. Соответственно выстраиваются и линии торгового оборудования. При этом линия узла расчета располагается перпендикулярно.

Преимуществами подобной планировки являются:

- хороший обзор торговых стеллажей
- отсутствие скоплений покупателей в определенных «узловых» участках магазина
- эффективная поточная работа расчетно-кассовой зоны магазина

На стадии проектирования магазина в первую очередь необходимо обратить внимание на тип товара, после чего – подобрать под его выкладку оборудование и конфигурацию его расстановки. Очень важен аспект психологического восприятия покупателя, с помощью которого можно увеличить его интерес к разным группам товара, расположив их тем или иным образом.

Предприятия розничной торговли классифицируются различными способами [2]:

1) По уровню обслуживания:

- самообслуживание,
- со свободным отбором товара,
- с ограниченным обслуживанием,
- с полным обслуживанием

2) по виду ассортимента товара:

- специализированные магазины,
- универмаги,
- универсамы,
- магазины товаров повседневного спроса,
- комбинированные,

3) по уровню цен:

- магазины сниженных цен,
- склады-магазины,
- магазины-демонстрационные залы,
- бутики,

4) по месту расположения:

- центральное городское расположение,
- центральное районное расположение,
- периферийное расположение,
- в удаленных микрорайонах города,

5) по размерам:

- крупные (более 150 м²)
- средние (до 150 м²)
- мелкие (до 50 м²)

6) по уровню территориальной концентрации:

- изолированные,

- сгруппированные,
- торговый комплекс,
- торговый центр,
- молл,
- торговая галерея.

Именно то, к какому типу по разным классификациям относится то или иное торговое предприятие будет являться основой проектирования.

1.2 Основные принципы проектирования освещения в магазинах

Свет - это важнейшее изобразительное средство. Осветить витрину и вход можно таким образом, чтобы покупателю хотелось зайти в магазин, можно ориентировать покупателя с помощью света, направляя его внимание от одного прилавка к другому. Правильно подобранное торговое оборудование, эффектная локальная подсветка витрин и грамотное освещение торгового зала создают неповторимый облик магазина и привлекают в него покупателей [3]. С помощью освещения можно влиять на визуальную привлекательность продуктов, корректировать цвет одежды или мебели, выгодно подчеркивать текстуру, форму и фактуру материалов и объектов, создавать благоприятную световую среду, располагая потенциальных покупателей к приобретениям. Свет непосредственно воздействует на эмоциональное состояние, а именно эмоции руководят выбором в процессе похода по магазинам.

Благоприятная цветовая среда является неотъемлемым фактором, который необходимо учитывать при освещении товара. Существует мнение, что наиболее важно не искажать цвет товара, представляя его в цвете, наиболее приближенном к виду при освещении дневным светом, чтобы покупатель не был шокирован при выходе из магазина переменах в цвете купленного товара. Однако, часто можно наблюдать ситуацию, когда искажения в цвете какого-либо предмета дают ему визуальное преимущество

по сравнению с его видом при освещении дневным светом или любым эталонным источником. Увеличение насыщенности цветов до определенного предела в случае с изделиями из ткани или бумаги, для которых важна именно заметность и броскость, может сыграть положительную роль при восприятии наблюдателями этих объектов, делая их гораздо более заметными, привлекающими к себе внимание.

Таким образом, освещение торговых помещений в ТЦ должно отвечать двум критериям: эстетичность и комфорт. В каждом конкретном случае и для каждого вида продукции подбирают наиболее подходящие световые решения и разрабатывают индивидуальный дизайн-проект, призванный представить товар в лучшем свете.

При проектировании освещения в магазине или торговом центре, как и в любом другом интерьере стоит несколько общих задач [4] –

- функциональная (создание комфортных условий для совершения зрительной работы);
- архитектурная (создание художественной выразительности интерьера, привлечение внимание к деталям, акцентирование на товаре);
- экономическая (создание экономичной ОУ, отвечающей требованиям по энергосбережению, эксплуатационным затратам и т.д.);
- экологическая (создание ОУ, соответствующей всем требованиям по экологической безопасности);

Световое решение пространства интерьера любого торгового помещения должно обеспечивать в первую очередь:

- комфортное соотношение светлот поверхностей интерьера в поле зрения человека;
- устранение дискомфортной блескости самосветящихся и несамосветящихся элементов интерьера;
- насыщенность светом помещения;
- гармоничное цветовое решение интерьера;

- оптимальная передача света элементов интерьера и объектов, в нем находящихся;

1.3 Основные законы привлечения внимания покупателей к товару

Самый очевидный способ продвижения товара — привлечь внимание к зоне с выкладкой товара и показать его покупателю с выгодной стороны [5,6]. Каждый магазин еще до открытия определяет наиболее приоритетные места своей торговой площади. Главный принцип простой: чем больше покупателей проходят мимо полки и бросают на нее взгляд, тем выше приоритет этого места в торговом зале. Этим и определяется тактика продаж: магазин нужно организовать так, чтобы покупатель обходил как можно большую торговую площадь. При освещении необходимо учитывать все основные законы привлечения внимания покупателей – именно свет может помочь нам акцентировать внимание посетителей на той или иной зоне, выделить объект на фоне, создать определенный световой ритм, который поможет склонить покупателей к выбору того или иного товара.

1) Закон «Золотой треугольник»

Суть его заключается в том, что наиболее востребованные товары (в продовольственном магазине это мясо, молоко, алкоголь, хлеб, овощи и фрукты) разносятся подальше друг от друга, чтобы покупатель прошел как можно более долгий маршрут и осмотрел все.

2) Закон «Правой руки»

Большинство покупателей передвигаются в пространстве торгового зала вдоль сторон «золотого треугольника» против часовой стрелки, всегда сворачивая налево. Двигаясь по этой траектории, человек всегда смотрит на середину правой от себя стены — полка, которая оказывается первой в поле его зрения, называется «золотой». На ней обычно располагают товары,

пользующиеся наибольшим спросом, на самый верх полок помещают товары с наиболее высокими ценами, а у ног с наименьшими.

Статистические данные говорят, что при переносе товара с уровня живота на уровень глаз продажи увеличиваются на 30 процентов, а при переносе с уровня ног — до 70 процентов.

3) Закон «Фигуры и фона»

Суть этого закона — в ярком выделении одного объекта на фоне других. Человек всегда выделяет, «выхватывает» из окружения один объект, при этом другие окружающие объекты на какое-то время становятся фоном. Этот закон мы используем, когда хотим акцентировать внимание покупателя на конкретном товаре для его продвижения. Выделение фигуры на фоне может быть достигнуто за счет:

- количества или размера, например, количество одного товара больше, чем другого, либо товар крупный по размеру;
- ярких цветов. Красный, желтый, оранжевый цвета распознаются человеком быстрее. Также человек обращает внимание на блестящие или люминесцентные краски. Товар с упаковкой яркого цвета имеет больше шансов стать фигурой, равно как и товар другого цвета, например синие стеклянные стаканы на фоне обычных прозрачных;
- нестандартной формы товара или упаковки. В данном случае срабатывает эффект новизны: человек склонен быстро замечать все новое и необычное в своем окружении. Поэтому нестандартный, оригинальный по форме товар или упаковка будут быстро замечены покупателем. Банки консервированных грибов в форме настоящих грибов с крышечкой-шляпкой сразу бросаются в глаза на фоне обычных стеклянных банок;
- подсветки. То, что хорошо освещено, лучше видно. Используется при торговле товарами, которые покупатель должен внимательно рассмотреть, например часами, ювелирными изделиями, одеждой;

- POS-материалов. Грамотно размещенные POS-материалы призваны, во-первых, привлечь внимание покупателя к определенному товару, во-вторых, отделить его от других похожих товаров;
- создания эмоционального образа. Это соединение мерчандайзинга и дизайна. Примером является принцип total look в представлении одежды — создание законченного стильного образа из сочетающихся элементов одежды и аксессуаров. Используется и для других товаров, например, размещенные рядом с сыром бутылка вина и фрукты усилят эмоции и привлекут к сыру внимание покупателя.

В рамках этого закона мы также находим ответ на вопрос, почему человек обращает внимание на то, что в центре (стеллажа, корпоративного блока и т. п.). Он автоматически начинает искать фигуру на фоне, даже если она не выделена.

4) Закон «Уровня глаз»

В зоне наибольшей концентрации внимания человека находятся предметы, расположенные на уровне глаз, точнее, в зоне ± 20 см от уровня глаз взрослого человека среднего роста, что обычно означает вторую и третью полки сверху при стандартном пяти-шестиполочном стеллаже. Стоит ли говорить, что товар, расположенный на уровне глаз, продается намного лучше, чем на других полках. Размещая товары, которые рассчитаны на детей, нужно учитывать уровень глаз ребенка.

5) Закон «Мертвой зоны»

Все, что видит вокруг себя неподвижно стоящий человек, называется зрительным полем. Предметы, попавшие в нижнюю часть зрительного поля, часто остаются без внимания. При этом левый нижний угол является самым неудачным — там взгляд человека останавливается реже всего. Соответственно, нижние полки как наименее осматриваемые должны

занимать крупные упаковки (например, стирального порошка), товар целенаправленного спроса (бочонки пива или дешевые макаронные изделия) или товарный запас. По данным маркетинговых исследований в супермаркетах, на нижние полки приходится лишь 5% продаж.

б) Закон «Переключения внимания»

Кроме того, что человек склонен выделять в зрительном поле фигуру, он нуждается в переключении внимания, т. е. в поиске следующей фигуры на фоне. Это означает, что нельзя располагать однотипный (даже яркий) товар в длинную строгую линейку без зрительных акцентов. В таких случаях переключение внимания может быть обеспечено POS-материалами: вертикальные разграничители, шелфтокеры с названием торговой марки и т. п.

Другая крайность — слишком много товара разных форм, цветов и размеров в одном месте — также не позволяет человеку спокойно переключаться с одного предмета на другой.

Закон «Группировки»

Этот закон отражает особенности восприятия человека и особенности его мышления. Человеку легче воспринимать информацию, если она сгруппирована. В идеале товар должен объединяться в группы по нескольким основаниям одновременно, например, по торговой марке, по виду товара, по весу/размеру упаковки, по цене. Главная задача — выложить товар так, чтобы покупатель мог легко в нем сориентироваться. Типичный пример группировки в магазине одежды: предметы одной коллекции вывешены рядом: жакет, блузы, брюки, юбки, платье и куртка.

7) Закон «7 ± 2»

Психологи говорят, что объем восприятия человека ограничен — в один момент времени он может «ухватить» и запомнить лишь пять-семь, максимум девять предметов. В магазине это число уменьшается до 3-5, ведь в процессе покупки покупатель выполняет несколько действий одновременно. Можно рекомендовать, чтобы количество товаров, брендов или POS-материалов в одном ряду, на одной витрине не превышало пяти. Например, пять ярких ценников на стеллаже с молочной продукцией; пять расцветок кофточек одного фасона; пять видов фотоаппаратов на полке одного производителя.

1.4 Способы освещения магазинов и торговых центров

Существуют различные способы освещения магазинов для лучшего восприятия товаров. В любом интерьере существует возможность создания световой среды, близкой к дневной, повторяющей те же распределения яркостей, световые контрасты и тенеобразование, что и в дневное время суток. Противоположным такому варианту освещения интерьера является так называемое «театральное» освещение, полностью меняющее привычный облик помещения и восприятие форм и объемов (рисунок 1)[7]. Театральное освещение может применяться локально, как один из видов акцентирования, привлечения внимания к отдельным товарам: в местах представления новинок, лидеров продаж, выкладок-информации и тематических композиций, товаров с уникальными характеристиками. При естественном распределении яркостей мы привыкли, что наиболее яркой в поле зрения является верхняя зона, в которой традиционно находится небо (на улице), или потолок с источниками света в интерьере. В театральном эффекте наиболее ярким объектом в помещении может быть пол, за счет чего посетитель будет чувствовать себя некомфортно, ощущать неустойчивость и

неуверенность при передвижении, отсутствие «крепкой почвы» под ногами. С помощью света и изменения привычного распределения света и тени можно создавать эффекты проваливающихся или выпуклых поверхностей, делать прямую стену изогнутой. Однако, использовать эти приемы нужно с осторожностью - при чрезмерном увлечении театральными эффектами в освещении магазина может нарушиться один из главных принципов - основное внимание должно быть привлечено к товарам, а не к фону.

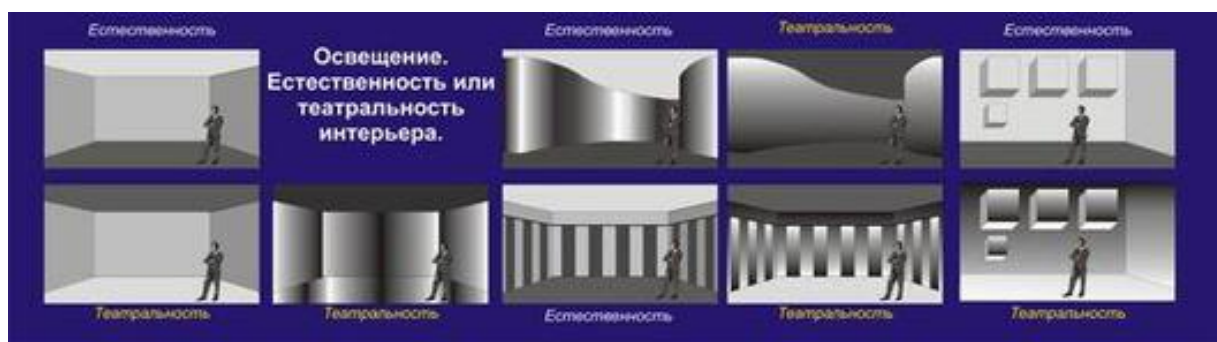


Рисунок 1 – Примеры «театрального» приема освещения

Распределение зон с разной освещенностью в торговом зале может создавать впечатление укороченного или удлиненного пространства. На рисунке 2 видно, что последняя от входа и касс четверть магазина малоинтересна и не привлекает покупателей. Если площадь магазина более 500 м², и торговый зал вытянут вглубь, такая ситуация может негативно сказаться на общем товарообороте магазина. В случаях, когда изменить расположение товарных групп сложно, активная подсветка дальней части зала может частично улучшить положение.

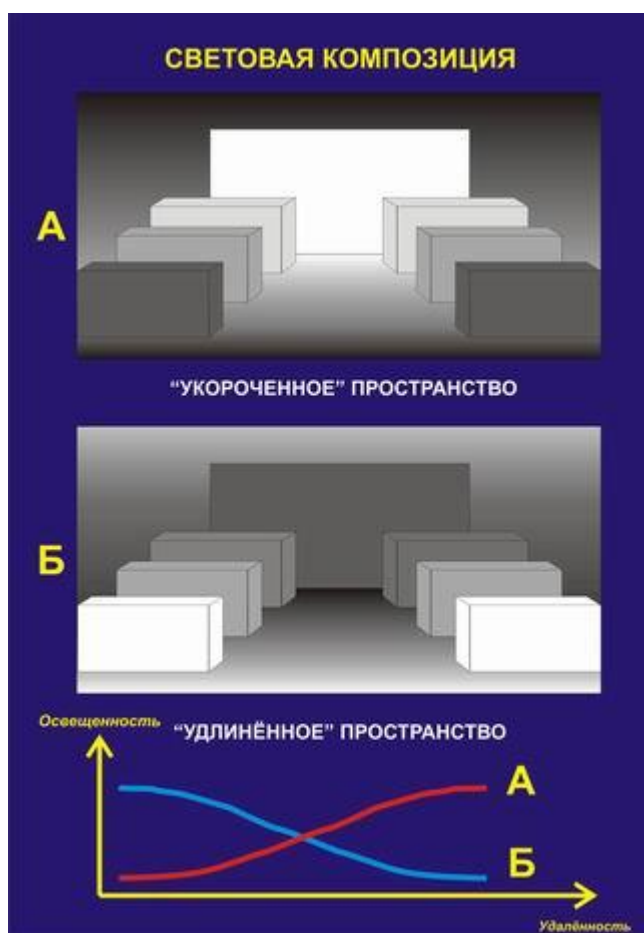


Рисунок 2 – Различные варианты освещения, помогающие укоротить или удлинить пространство

Нормативные документы, регулирующие уровень искусственного освещения торговых залов не всегда отвечают реальным требованиям магазина. С точки зрения обеспечения уровней освещенности, необходимых для ориентации в пространстве и выполнения элементарной зрительной работы, нормируемой освещенности достаточно. Но магазин – то место, где требования к свету гораздо обширнее, потому что именно на освещение возлагаются важные задачи.

Таблица 1 – Нормы освещения магазинов и торговых залов [8]

Помещение	Плоскость*, для которой нормируется освещенность, и ее высота над полом, м	Освещенность поверхности, лк
Торговые залы супермаркетов и гипермаркетов	Г, 0,8	500
Торговые залы магазинов одежды, обуви, тканей, меховых изделий, книжных, парфюмерных, ювелирных, электротоваров и продовольственных магазинов без самообслуживания	Г, 0,8	300
Торговые залы продовольственных магазинов самообслуживания	Г, 0,8	400
Торговые залы магазинов мебели, спортивных товаров, стройматериалов, бытовой техники, игрушек, канцелярских товаров	В, 1,5	200
Примерочные	Г, 0,8	300
Помещения для подготовки товаров к продаже	Г, 0,8	300
Кассы	Г, 0,8	500

Существуют два типа освещения – общее и акцентное [9, 10]. В зависимости от них используются различные приборы и опытным путем выбираются различные уровни освещенности.

Общее освещение – это функциональный свет, который обеспечивает однородную световую среду, необходимую для того, чтобы ориентироваться в торговом зале. Основным требованием к общему освещению является его равномерность, хорошая цветопередача для правильного восприятия цветной продукции, отсутствие слепящего действия, которое могло бы вызывать ощущение дискомфорта. При наличии общего освещения покупателю должно быть приятно находиться в помещении в течение достаточно длительного времени и выполнять некоторую зрительную работу при выборе товара.

При высоких уровнях общей освещенности потребитель пребывает в некотором возбуждении, сравнимом с настроением во время праздника. При недостаточной освещенности торгового пространства (меньше 500 лк) зрение покупателей постоянно напряжено, а если человек постоянно будет испытывать какие-либо неудобства, он быстро решит покинуть место, где ему не комфортно находиться. Нормальные пределы освещенности, безопасные для посетителя и создающие комфортные условия для длительного пребывания – 500-1500 лк. Слишком большое количество света также может привести к дискомфорту, ослепленности, быстрой

утомляемости. Помимо правильного выбора уровней общей освещенности, важно точно подобрать цветовую температуру используемых источников света. Наиболее распространенное решение – нейтрально-белый свет с Тцв 4000К. Это позволяет покупателю не испытывать дискомфорта при больших уровнях освещенности, а так же допускает отделку торгового помещения как в теплых, так и в холодных тонах. Однако не стоит забывать о комфортных для наблюдателя соотношениях уровней освещенности и цветовой температуре источника (рисунок 3)

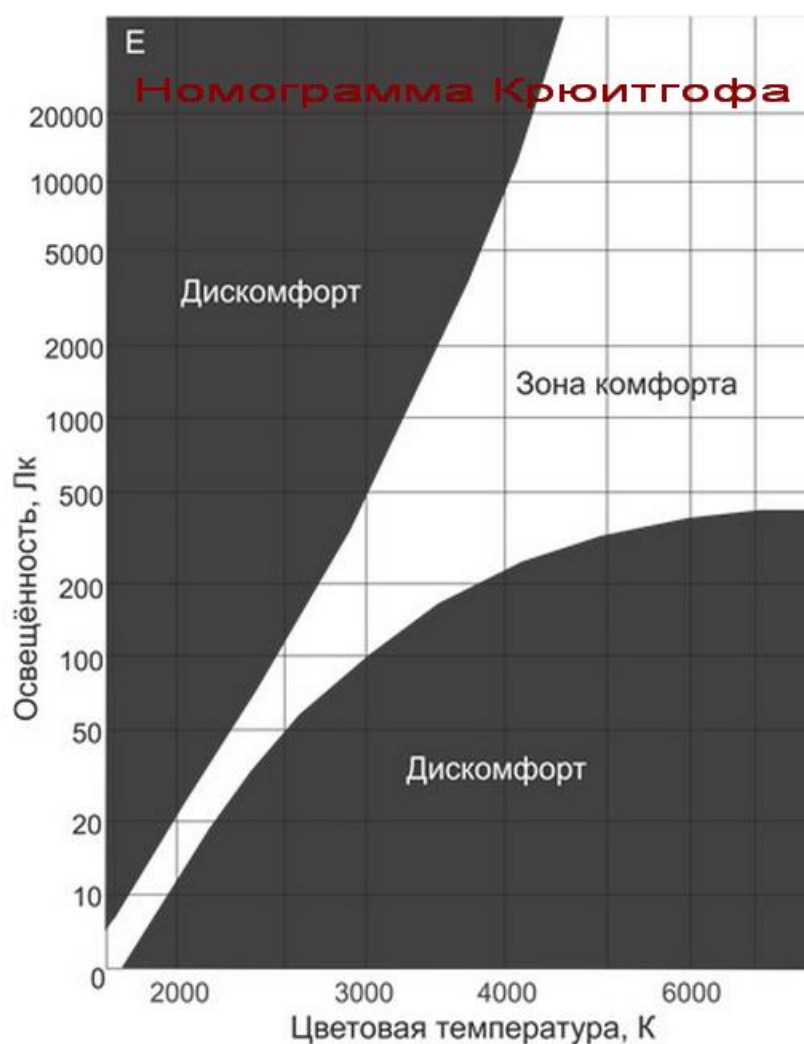


Рисунок 3 – Нормограмма Крюитгофа

Важным приемом управления маршрутом покупателя является *акцентирующее* освещение, направленное на товары, выставленные для продажи. Оно позволяет управлять вниманием покупателей, направляя их в

определенную зону. «Светлое пятно» на входе в магазин трудно не заметить, а если разместить в глубине торгового зала ярко освещенный стенд или стену с товарами, можно быть уверенным, что покупатели не пройдут мимо, а «пойдут на свет».

Акцентная подсветка – это свет для продвижения товаров. Он нужен для выделения представленных товаров и определенных зон магазина. Этот свет притягивает взгляд посетителя, заставляя его обратить внимание на освещенный товар, подчеркивает специфические черты продукта – его форму, цвет, фактуру и т.п. Чтобы световые акценты выполняли свое назначение, уровень акцентирующей подсветки должен быть значительно выше, чем у общего освещения, ведь сила акцентирующего освещения – в разных уровнях яркости, обеспечивающих игру света и тени, подчеркивающих с помощью контраста форму и цвет. Именно взаимодействие разных уровней яркости и богатства цвета определяет привлекательность торговой атмосферы.

Таким образом, для полноценного освещения продукции в любом магазине очень важно подбирать источники и приборы не только обеспечивающие нужные уровни освещенности, но и передающие и приукрашивающие именно тот цвет товара, который наиболее выгодно подчеркнет его свежесть, качество и отменный вкус. Поэтому при проектировании в магазинах осветительной установки необходимо учитывать, как он с точки зрения психологии будет восприниматься потребителями.

Световые акценты - самые сильные, и они помогают покупателю ориентироваться в зале, являясь таким же действенным средством, как знаки и указатели. На рисунке 4А показан уровень локальной освещенности, недостаточный для акцента, на рисунке 4Б – достаточный [7].

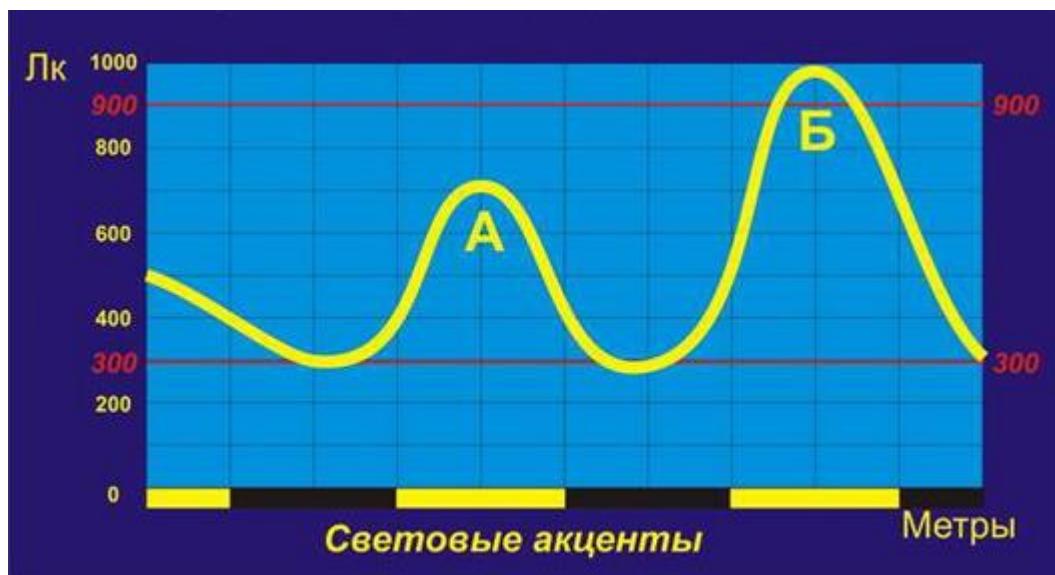


Рисунок 4 – Требуемые уровни акцентного освещения

С помощью освещения может создаваться зрительный маршрут для покупателя, и при сложной конфигурации торгового зала (когда зал разделен на несколько частей, есть «аппендиксы» и тупиковые зоны) световые эффекты помогут привлечь посетителей магазина в дальние углы. Зоны в торговых центрах, куда посетители не доходят, часто встречаются в реконструируемых зданиях, изначально спроектированных для неторговых функций. Направить поток покупателей помогают световые табло или указатели, заметные издали, а также расположение в местах, видимых из центральной части зала низкого или островного оборудования с встроенной подсветкой. Каре из прилавков - хороший пространственный и световой акцент. В магазинах бытовой техники зону «белого безмолвия» - отдел крупной бытовой техники, - иногда располагают в первой части зала или на первом этаже по принципу сокращения трудоемкости перемещения товара. Тогда могут быть зрительно перекрыты пути к витринам с мелкой бытовой техникой, посудой и аксессуарами, а ведь многие из этих товаров могли бы быть куплены импульсно. В таких случаях на первом этапе надо хотя бы зрительно обозначить маршрут для покупателя, обеспечить просматриваемость групп товаров со стороны входа. В ряде случаев нецелесообразно размещать в удаленных и сложных для доступа углах

прибыльные категории товаров, так как существует риск, что покупатели все же не добредут в эти места. Лучше использовать такую зону для товаров, ради которых покупатели способны преодолеть расстояние и препятствия, - например, товары для ценовых покупателей и/или для льготных категорий населения.

При размещении товаров и рекламных материалов в углах помещения необходимо принимать во внимание коэффициенты отражения поверхностей. Очевидно, что меньше всего света отражают изделия и поверхности черного цвета - всего около 4%. Поэтому черные товары из кожи, а особенно меховые изделия хуже воспринимаются, если расположены в углу или недостаточно освещены с помощью акцентного освещения. Различия и интересные особенности моделей меховых изделий черного цвета могут остаться незамеченными, пока в дело не вступит продавец. Изделия из черного бархата особенно сложны в представлении, поскольку поглощают более 99% света. Серые и синие тона отражают 20-25% света, светло-коричневый, светлые охры, светло-оливковый цвета - 25-35%. Коэффициент отражения у красного цвета составляет 10-15%, и при плохом освещении красный превращается в грязно коричневый. При этом ослабляется психологическое воздействие красного цвета, призванного привлечь внимание и создать дополнительную импульсность при выборе товара, поэтому применение его в большом количестве в зоне недорогих товаров, акций и распродаж становится не так эффективно.

При выкладке товаров учет направления акцентного освещения помогает подчеркнуть особенности товара. Застекленные шкафы и витрины - достаточно привлекательное место в зале, и часто там располагаются значимые товары. Поэтому рекомендуется не только использовать средства композиции в выкладке, но и учитывать особенности освещения:

- *Освещение сзади* скрывает объем, смягчает цветовые различия на упаковках. Когда освещение находится за товарами, эффективно

использование композиций, интересных по силуэту и товаров, имеющих прозрачные упаковки и прозрачное содержимое: напитков, гелей, посуды и т.п. При этом создается эффект витражности.

- *Освещение с боков* усиливает объем, подчеркивает вертикальные грани, создает игру света и тени на рельефной поверхности. Когда освещение осуществляется с боков, композиция более выигрышна, если располагается на разном уровне. Сами упаковки лучше подбирать такие, чтобы играл рельеф. Боковое освещение тоже прекрасно работает «на просвет». При такой подсветке важно, чтобы самый высокий товар не оказывался у краев полки, иначе он закроет свет, и его передняя сторона упаковки будет темным пятном в ряду.

- *Освещение сверху и снизу* усиливает горизонтальные грани выставленных товаров, так же подчеркивает рельеф, создавая яркостные контрасты на поверхности.

Как было уже сказано выше, одним из важнейших факторов в восприятии освещенных объектов является цвет, поэтому важная роль освещения заключается еще и в том, чтобы подчеркнуть с помощью цвета качество продукта. Цвет оказывает на человека сильное эмоциональное воздействие, важную роль играют насыщенность цвета, его оттенки, наличие рядом цветного фона, сочетание с другими цветами.

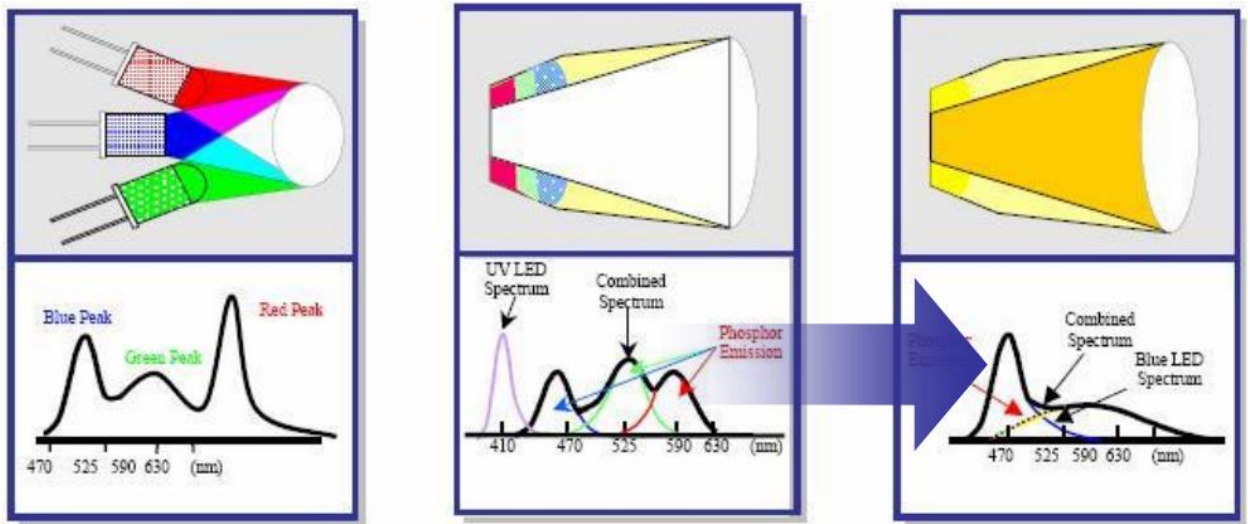
Не стоит забывать, что восприятие человеком цвета и отношение к нему также зависит от того, что за материальный объект перед ним и какую функцию несет цвет. Использование одной и той же цветовой гаммы при оформлении интерьера, создании рекламного объявления, выборе одежды и обуви или привлечении внимания к товару не всегда приводит к одному и тому же желаемому результату.

2 Способы получения белых СД

Светоизлучающий диод (СД) – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении. Белое свечение СД может быть получено в основном тремя путями: преобразование синего или УФ излучения при помощи люминофора или смешения трех и более “монохроматических” светодиодов.

Первый способ - смешение излучения трёх люминофоров (красного, зелёного и голубого), возбуждаемых ультрафиолетовым светодиодом. При этом способе применяются хорошо известные принципы и люминофоры, используемые при создании люминесцентных ламп.

Второй способ – смешение голубого излучения СД с излучением либо желто-зелёного люминофора, либо зелёного и красного люминофоров, возбуждаемых этим голубым излучением. Этот способ прост и в настоящее время наиболее экономичен. На рисунке 5 представлен спектр излучения белого люминофорного светодиода, полученный вторым способом. Первый, ярковыраженный пик в голубой области обусловлен излучением кристалла, второй, более широкий - излучением люминофора.



а)

б)

в)

Рисунок 5 – Способы получения белых СД источников, а) – RGB светодиоды, б) – УФ излучение+люминофор, в) – голубое излучение+люминофор

Пример спектрального состава люминофорных светодиодов – СД источники производителя Cree (рисунок 6) [11].

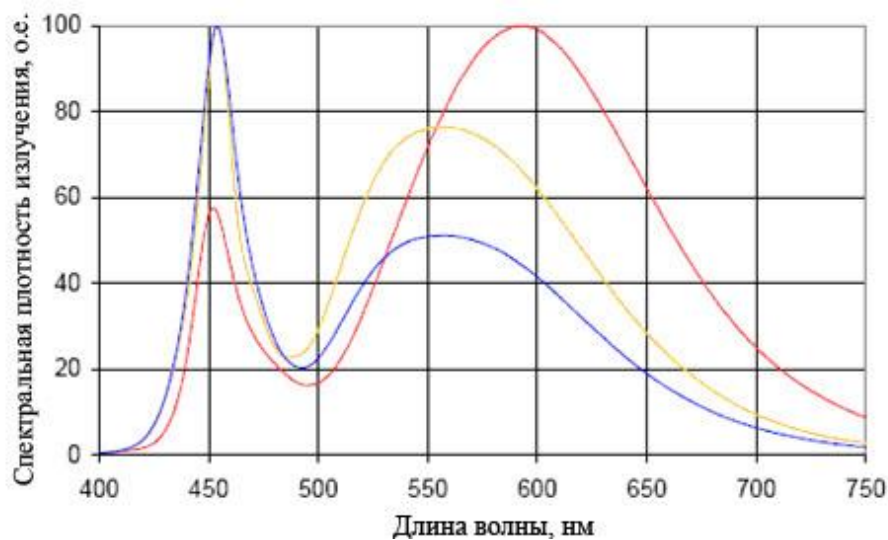


Рисунок 6 – Спектральный состав излучения белых люминофорных светодиодов Cree с разными Тцв

Третий способ – смешение излучения СД трёх или более цветов. Для каждого из СД – красного, зеленого или голубого выбираются такие значения пропускаемого через него тока, чтобы суммарное излучение всех трех СД имело заданную цветность. Цветные светодиоды размещаются на одной матрице, их излучение смешивается при помощи оптической системы, например, линзы. Белые RGB светодиоды имеют специфический спектр излучения, состоящий из трех пиков в красной, зеленой и синей областях и напоминают спектр трехполосных ЛЛ. Пример их спектров представлен на рисунке 7.

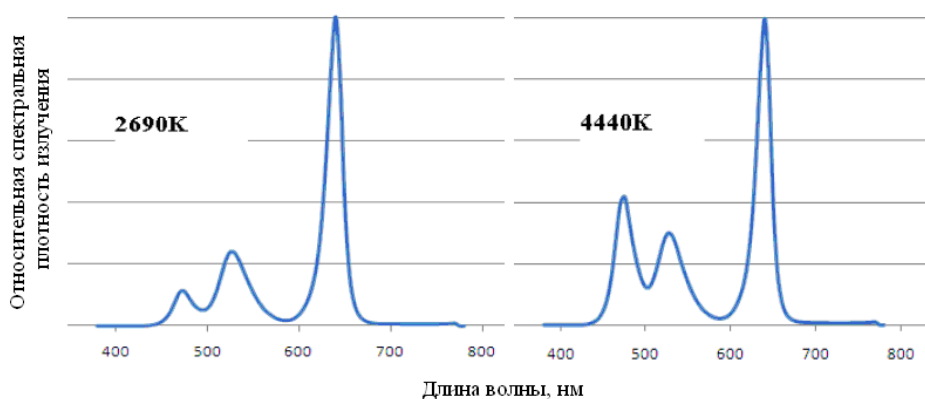


Рисунок 7 – Спектры белых RGB кластеров

В отличие от традиционных ИС белые светодиоды, основанные на смешении цветов, имеют большую степень свободы в образовании определенного спектра излучения. Технология многокристалльных СД источников белого света позволяет получить белое излучение с разной цветовой температурой при изменении пропорции соотношения излучения СД кристаллов разных цветов. Этим процессом можно управлять вручную или посредством программы; можно также получать различные цветные температуры. Поэтому RGB-матрицы и кластеры широко используются в светодиодах динамических системах. Кроме того, большое количество светодиодов в матрице обеспечивает высокий суммарный световой поток и большую осевую силу света.

Вид спектральной плотности излучения СД зависит от температуры кристалла и величины протекающего через него тока. Тепловой режим работы СД определяется также температурой окружающей среды, материалом теплоотводящей платы, способом её соединения с кристаллом. Каждый из производителей решает эту задачу по-своему. Среди наиболее известных производителей используются следующие технологии:

- компания Nichia Corporation использует технологию выращивания кристаллов InGaN на сапфировой подложке, медное теплоотводящее основание, приклеивание кристалла на подложку (рисунок 8)[12];

- Philips Lumileds Lighting - на подложке из монокристалла кремния, медное теплоотводящее основание, эвтектическая установка кристалла на подложку (рисунок 9) [13];

- Компания Cree - предлагает использовать технологию выращивания кристаллов InGaN на политипе 6Н карбида кремния основание из нитрида алюминия, эвтектическая установка кристалла на подложку (рисунок 10) [11];

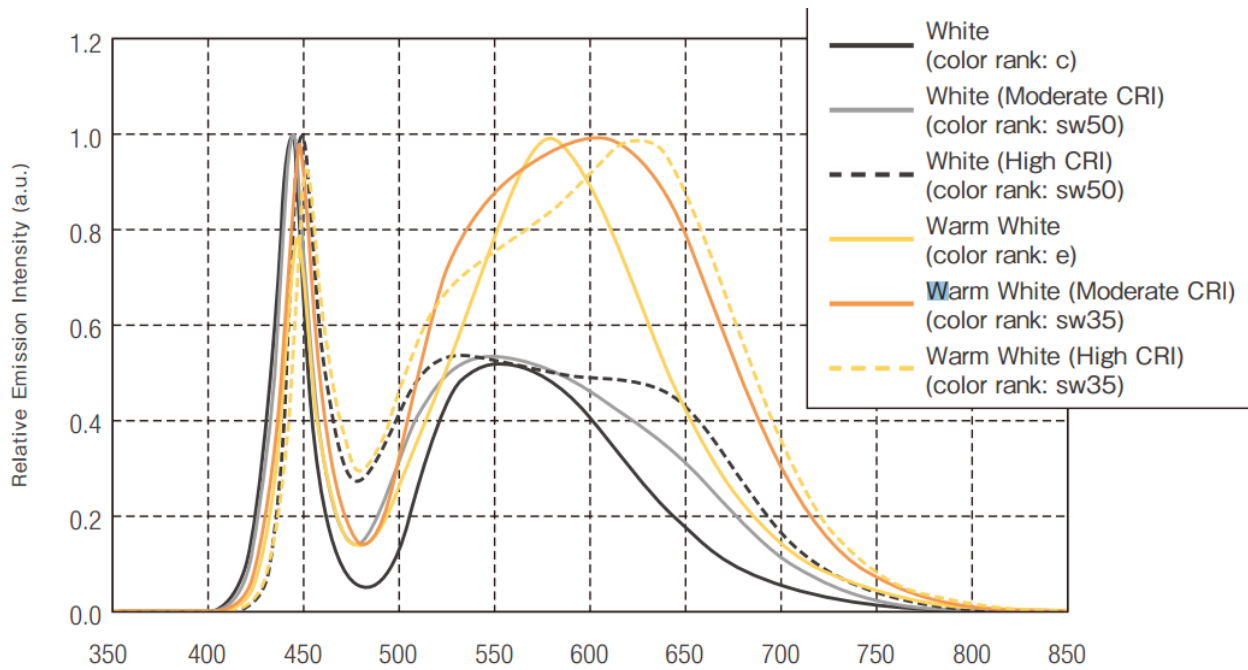


Рисунок 8 – Спектральный состав излучения СД Nichia

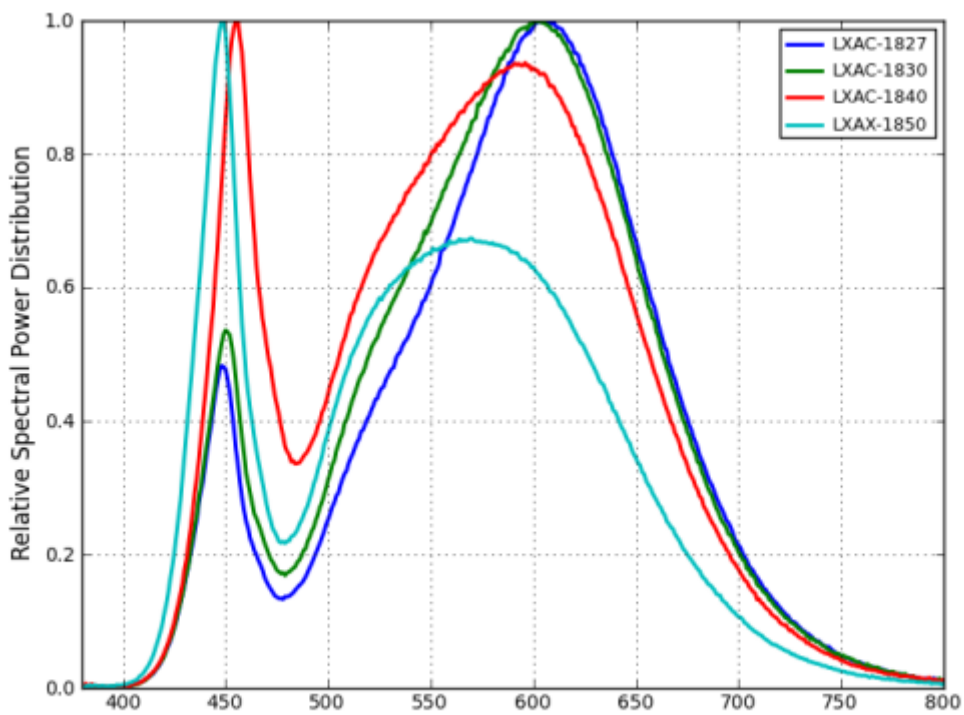


Figure 4. Color Spectrum of LXAC-18xx.

Рисунок 9 – Спектральный состав излучения СД Philips lumileds lighting

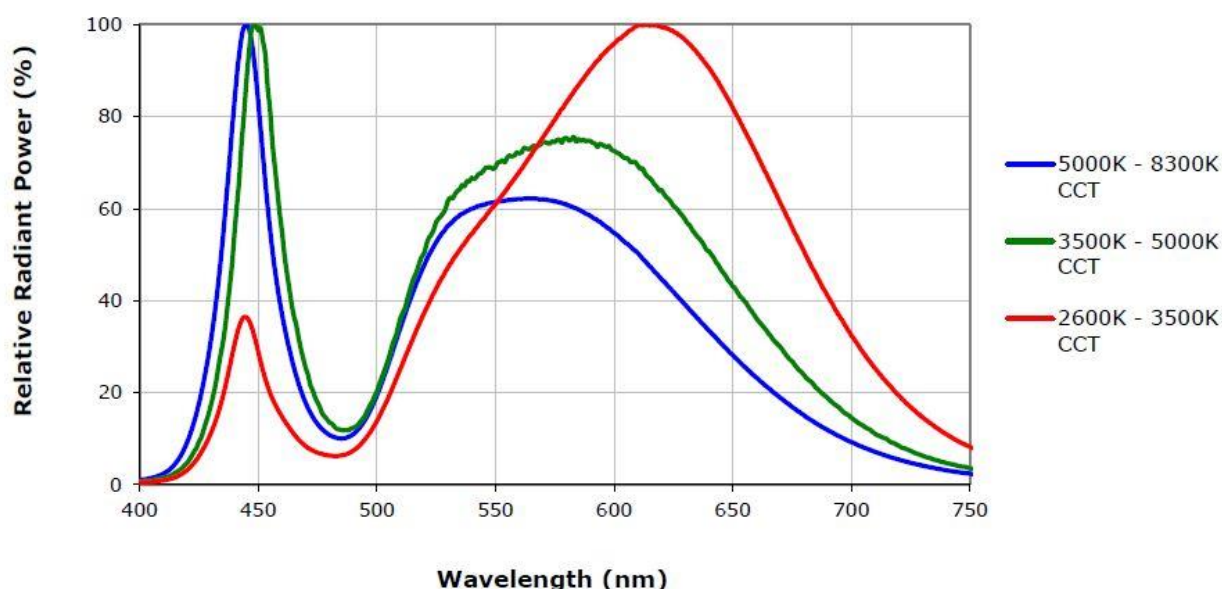


Рисунок 10 – Спектральный состав излучения СД Cree

Светодиодные приборы, как было сказано ранее, широко используются в магазинах, на выставках, в галереях, при освещении музейных экспонатов, одежды, обуви, мебели и тд. Но не стоит забывать о том, что в светодиодных спектрах есть доля излучения, негативно влияющая на освещаемые объекты. Было изучено влияние излучения белых светодиодов на деградацию цветных пигментов (главным образом, выцветание) голубых текстильных тканей и других материалов со средней светостойкостью [15].

Образцы исследовались в соответствии с методикой Публикации МКО – CIE 157:2004 («Вредное воздействие оптических излучений на музейные экспонаты»). Облученность составляла 150000 лк·ч. (Например, освещенность испытуемых образцов 150 лк поддерживалась в течение 1000ч, или при освещенности 300 лк образцы подвергались облучению в течение 500 ч).

Было выявлено, что светодиодные источники света с однокомпонентным корригирующим люминофором и коррелированной цветовой температурой $T_c \geq 4000$ К, имевшие достаточно интенсивные «пики» в голубой спектральной области $\lambda = 400-500$ нм, приводили к

значительно более интенсивному выцветанию жёлтых пигментов и голубых тканей, чем, например, применяемые в музеях люминесцентные лампы.

Было установлено также, что белые светодиоды на базе УФ-диодов с 3-компонентным люминофором тоже «не безгрешны» и оказывают деструктивное действие на экспонаты.

Под руководством Dale Kronkright – куратора музея имени американской художницы Georgia O'Keeffe (1887-1986) в Санта Фе (шт. Нью-Мехико, США) и директора исследовательского центра этого музея были проведены исследования качества цветопередачи и вредного воздействия излучений тёпло-белых светодиодов ($T_{цв}=2700-3000$ К) с линейчатым спектром.

В спектре светодиодов первого поколения с тёпло-белым и нейтрально-белым оттенком света имелись явно выраженные «пики» в голубой области с $\lambda = 450-475$ нм, в зелёно-жёлтой ($\lambda = 575-580$ нм) и в оранжевой областях $\lambda = 620-640$ нм.

Большинство же цветных светочувствительных экспонатов в этих спектральных областях поглощают такие излучения. D. Kronkright доказал, что воздействие такого освещения может привести к быстрому повреждению цветных пигментов картин и других экспонатов, а также вызвать выцветание тканей и бумаги.

Однако успехи в интенсивном развитии светодиодных технологий в последние годы позволяют использовать эти полупроводниковые источники света для освещения как светочувствительных экспонатов, так и для других произведений изобразительного искусства, артефактов и других объектов, нечувствительных к воздействию оптического излучения.

Американский производитель светодиодов Xicato, известный светодиодами с превосходным качеством цветопередачи предлагает использовать «технология холодного корректирующего люминофора». Модули «Artist Series XSM», созданные в соответствии с этим патентом, снабжены смесью специальных люминофоров, которые

конструктивно удалены от излучающего кристалла светодиода (рисунок 11)[15].

Снижение температуры нагрева люминофоров, а, следовательно, минимизация теплового старения благоприятно сказываются на надёжности модуля, его сроке службы и стабильности характеристик излучения.

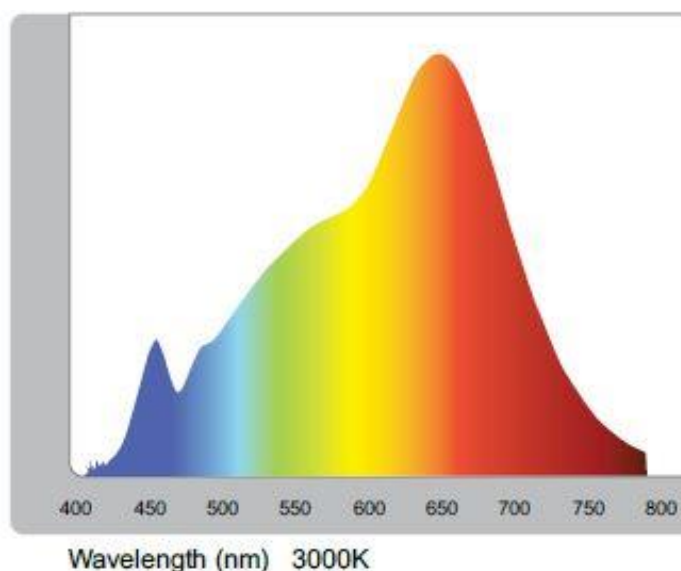


Рисунок 11 – Спектральный состав излучения СД Xicato

Как видно из графиков, спектр излучения модуля с $T_{ц} = 3000 \text{ K}$ имеет сравнительно небольшую долю излучения в «особо опасной» зоне $\lambda=400\text{--}450$ нм и достаточно плавный переход к зелёно-желтым и оранжево-красным участкам спектра.

В зоне $\lambda \leq 400$ нм, примыкающей к УФ-участку спектра, интенсивность излучения «Artist Series XSM» даже меньше, чем у зеркальных галогенных ламп, достаточно широко используемых в практике музейного освещения, что делает их практически безопасными для освещения восприимчивым к коротковолновому излучению материалов.

Понятно, что использование приборов, созданных на основе этих светодиодов предпочтительно для освещения всех цветных объектов, где качество восприятия цвета принципиально важно. Однако, из-за высокой стоимости светодиодов данного производителя это бывает экономически

нецелесообразно, ведь при освещении цветных объектов не всегда высокий индекс цветопередачи гарантирует положительное восприятие цвета наблюдателями, равно как и наоборот – низкий индекс цветопередачи часто не является показателем того, что человек будет воспринимать цвет, как «некрасивый».

Начало широкого применение световых приборов на основе светодиодов для внутреннего освещения привело к тому, что все большее количество зарубежных специалистов включают в понятие цветопередачи источников света не только неизменность восприятия цветных объектов по сравнению со стандартным источником, но и возможность увеличения насыщенности цвета объекта для его «приукрашивания». Одним из эффектов, который привел к такому роду суждений, является эффект Ханта (Hunt effect)[16]. Хант в результате своих экспериментов получил зависимость возрастания ощущения «полноты» цвета (colorfulness) образцов с различной цветностью (Chroma) от уровня их освещенности (рисунок 12).

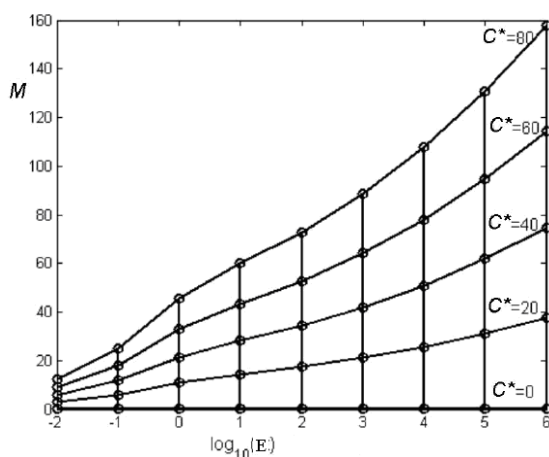


Рисунок 12 – Зависимость полноты цвета (M) для 5-ти образцов с разной насыщенностью (C) от освещенности E

Еще одну закономерность выявили Гельмгольц и Кольраушь, в честь которых был назван эффект «пылания» цветов [17]. Согласно этому закону насыщенность цвета влияет на его светлоту при постоянной яркости. Чем

ближе тестовое поле к монохроматическому, тем более «ярким» оно кажется, даже если освещенность сетчатки глаза при этом остается постоянной.

Основываясь на эффекте Ханта, зарубежные специалисты предложили считать увеличение насыщенности цветных образцов под излучением искусственных источников света за свойство, которое не должно ухудшать оценку качества цветопередачи данного ИС [18]. При определенном спектральном составе излучения, освещающего объект, цвет объекта кажется наблюдателю лучше, чем при освещении эталонным источником с идеальной цветопередачей. Количественную оценку этого явления можно в дальнейшем разработать на основе одного из трёх критериев точности воспроизведения цвета Н. Д. Ньюберга [19]:

1. Физически точное воспроизведение цвета характеризуется тождеством спектральных составов любой точки объекта и его изображения.

Этот критерий учитывает только объективную сторону процесса цветопередачи и не зависит от приёмника излучения. Практическое выполнение такого тождества очень сложно осуществимо.

2. Физиологически точное воспроизведение цвета определяется равенством цвета любого участка оригинала и его изображения в пределах точности визуальной оценки.

$F_{iо}=F_{iи}$, где $F_{iо}$ и $F_{iи}$ – цвета i -го участка объекта и его изображения соответственно. В колориметрической системе XYZ этот критерий можно записать следующим образом:

$$x_{iо}-x_{iи}\leq\Delta x_{iпор}, y_{iо}-y_{iи}\leq\Delta y_{iпор}, L_{iо}-L_{iи}\leq\Delta L_{iпор}, \text{ где}$$

$x_{iо}, x_{iи}, y_{iо}, y_{iи}$ – координаты цветности объекта и изображения соответственно;

$L_{iо}, L_{iи}$ – яркости объекта и изображения;

$\Delta x_{iпор}, \Delta y_{iпор}, \Delta L_{iпор}$ – пороговые значения координат цветности и яркости;

Этот критерий основан на оценке спектрального состава излучения при наблюдении объекта и его изображения зрительным анализатором, работающим как нуль-индикатор и оценивающим пороговые изменения цвета. При оценке по этому критерию требования к качеству цветопередачи гораздо менее жесткие, чем при необходимости добиться физической точности.

3. Психологически точное воспроизведение цвета – базируется на психофизиологическом воспроизведении человеком не только цвета, но и всего объекта в целом.

Качество цветопередачи является недопустимым, если любое изменение цвета произвольно выбранного участка изображения, при постоянстве цветов остальных его участков, приводит к изменению восприятия изображения в целом. Соответственно, если цвета всех участков изображений изменились на разные величины порогов, но при этом в целом восприятие изображения осталось прежним, то цветопередача является приемлемой.

Этот критерий позволяет проводить оценку цветопередачи в реальных условиях, с учетом психологического восприятия человеком цвета, находящегося в какой-то цветовой среде. Использование психологического критерия могло бы снизить требования к индексу цветопередачи используемых источников. Если найти пределы изменения спектров светодиодов, при которых цвета будут выглядеть приукрашенными, то можно подходить к проблеме цветопередачи источников света более лояльно, выбирая источники с меньшими значениями индекса цветопередачи без ущерба для восприятия цветного объекта в целом.

3 Проект освещения торгового центра

3.1 Архитектурная концепция торгового центра

В архитектурном проекте торгового центра ставится несколько задач:

- формирование яркого образа, помогающего легкой идентификации объекта на карте города;

- повышение статуса объекта за счет интересных дизайнерских решений и предоставления городу общественной многофункциональной зоны внутри ТЦ – центрального острова и атриума.

Поскольку торговый центр находится под землей, основная задача архитекторов и дизайнеров при проектировании торговых галерей – минимизировать восприятие пространства, как подземного. Главным инструментом дизайн проекта является создание образа яркого, белоснежного пространства с имитацией естественного света, который поможет подчеркнуть достоинства архитектуры и поможет восприятию пространства интерьера, делая его комфортным для пребывания, интересным для подробного рассмотрения, а значит, способным вновь и вновь привлекать посетителей.

Архитектура интерьера торгового центра представлена уникальным ансамблем из нескольких функциональных зон:

1. Атриум - центральное «сценическое пространство». Восприятие атриума усилено за счет необычного светового решения.

Атриум - это пространство притяжения всех потоков посетителей, он связывает визуально уровни А и В, состоит из: амфитеатра, фудкортов, подиума, фонтана и центральной общественной зоны («Центральный остров») (рисунок 13).



Рисунок 13 – Атриум

- АМФИТЕАТР - архитектурный элемент, выполненный из стальных конструкций, по боковым лестницам которого проходит поток людей, перемещающийся с уровня А на уровень В. На больших ступенях амфитеатра посетители превращаются в "зрителей" (рисунок 14).

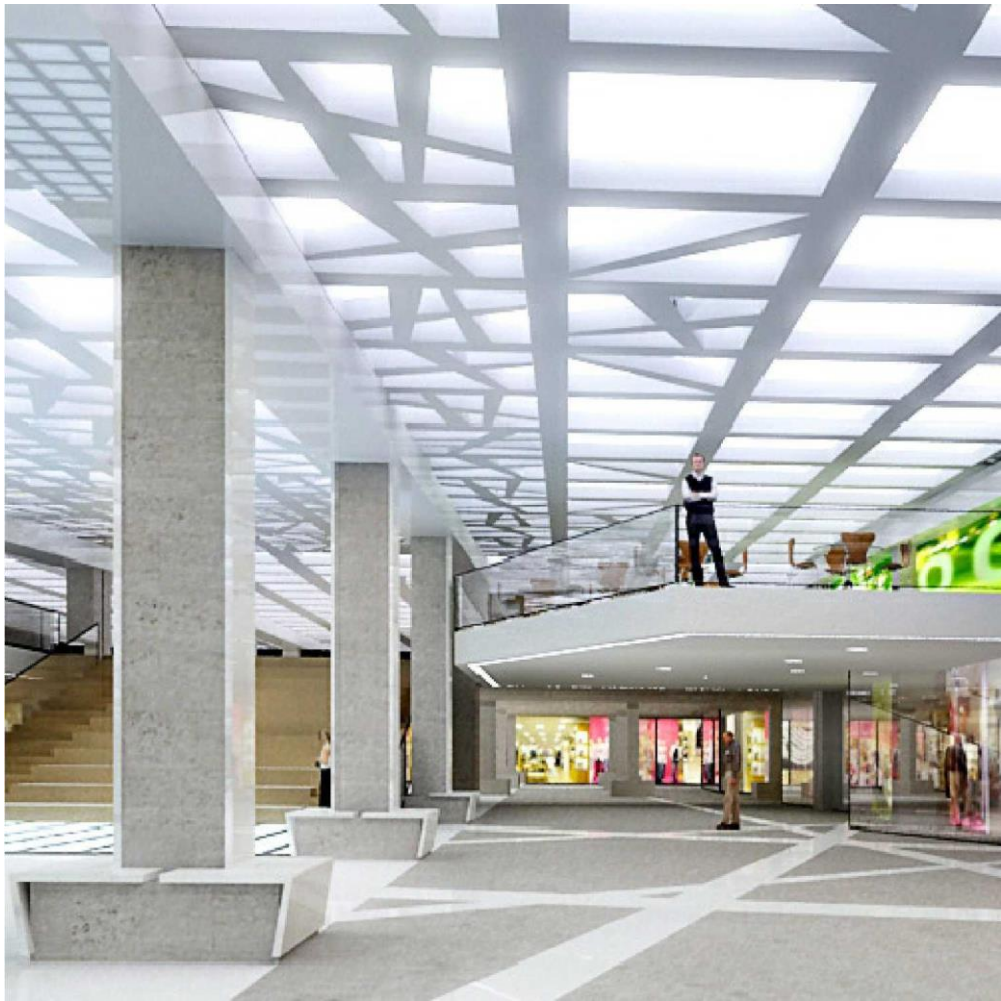


Рисунок 14 – Амфитеатр и зона элеватора

- ФУДКОРТЫ - архитектурный элемент, который обостряет восприятие и формирует яркий образ пространства Атриума. Посадочные зоны фудкорт являются «малыми залами» с «наблюдателями» за действием в «зоне перфоманса».

- ПОДИУМ - конструкция подиума – ламинированная фанера формата 1м на 2м на ножках (специальная конструкция для показа мод). 40 элементов (1*2м) формируют квадрат. Подиум может раскладываться в зону для дефиле, проходящую «сквозь» фонтан, через всю зону лаундж.

- ФОНТАН - BitFall Aquascript - арт-объект - инновационная технология – водяной принтер, созданный немецким художником Джулиусом Попом. Проектом предусмотрена совместная работа фонтана и экранов.

(экран №1 раскрыт на амфитеатр, экран №2 раскрыт на зону лаундж).

Экраны выполняют роль стен, на которые можно проецировать разные узоры и давать подсветку разных цветов.

- ОСТРОВ (центральная общественная зона) - «драгоценность» комплекса раскрывает ценность общественного пространства торговых галерей (рисунок 15).

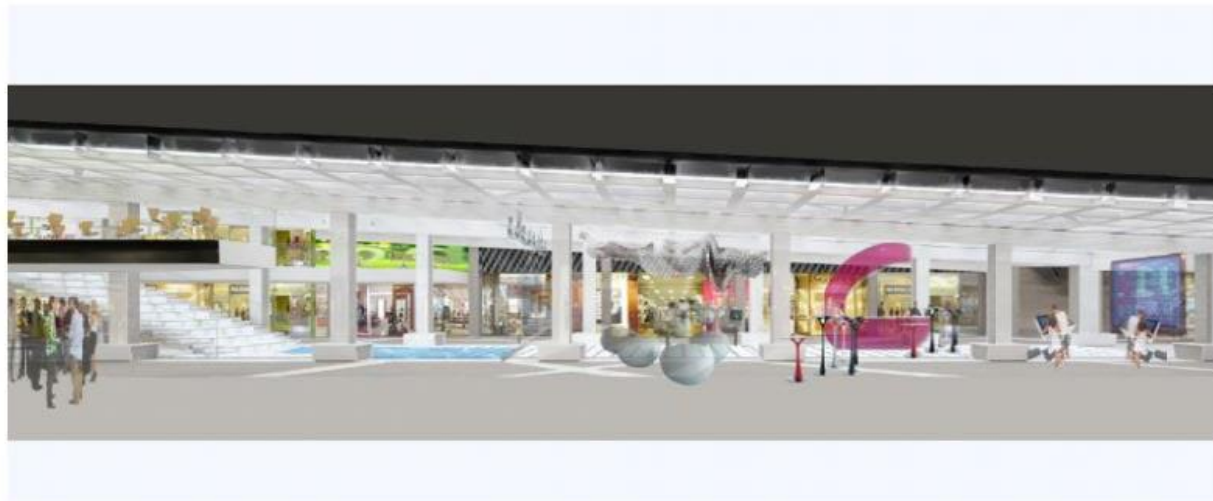


Рисунок 15 – Центральный остров

Это большая лаундж зона, в которой все элементы взаимосвязаны и находятся в некой композиционной иерархии: арт потолок, наливной пол, арт мебель из кореана и освещение подчинены одной идеи. Концепция центральной зоны - тающие «льдины» в весенних «ручьях» сбегаящих к «водопаду» "Природные формы" постепенно снижают высоту уровня пола по мере приближения к фонтану.

В данном пространстве находятся: барная стойка со столиками, лаунж зона и интерактивная зона.

2. Галереи - торговые светлые улочки с вереницами бутиков, по задумке архитекторов должны напоминать жемчужины, нанизанные на нити.

Сияющая белая концепция интерьера галерей формируются витринами из прозрачного стекла, витрины объединены единой световой полосой на уровне А и на уровне В. Вывески в галереях решены в едином формате (одинаковый материал, одинаковая высота, ширина букв, цвет и подсветка).

В центре галерей, где происходит расширение пространства и галереи раздваиваются, фланкируя центральный остров, а так же происходит плавное повышение потолка, над витринами формируется длинная (45м) трапециевидная поверхность - ФРИЗ, состоящий из металлических перфорированных панелей, через которые осуществляется подача и забор воздуха. Архитектурная подсветка над фризом должна давать эффект парящего потолка. Матовое стекло расположено по периметру эскалаторов, к эскалатору примыкают типовые бутики.

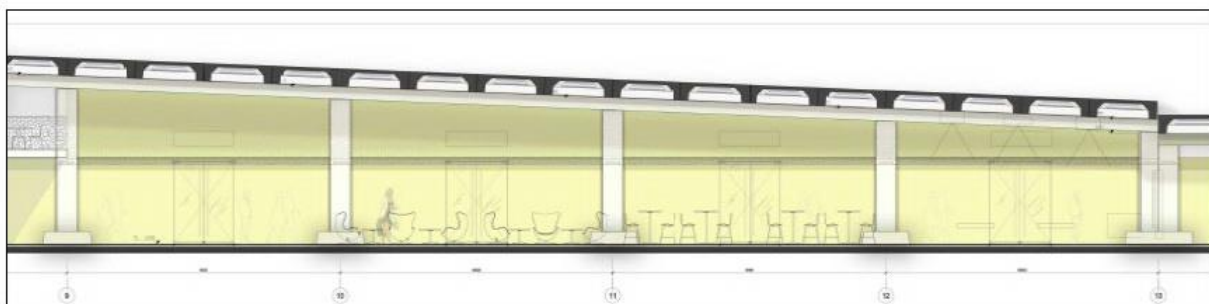


Рисунок 16 – Фриз

В галереях предусмотрена возможность изменения цветовой температуры и сценария освещения в зависимости от биоритмов человека, времени суток и времени года. Реализация данных проектных решений должна стать стимулирующим фактором для коммерческого успеха торгового центра, поднимать настроение и создавать новые впечатления, а так же служить цели расширения аудитории, привлекая новых гостей.

3. Кессонированный потолок со встроенными светодиодными модулями создает общее освещение и имитирует дневной свет, а так же на нем может создаваться световая инсталляция с бегущими по небу облаками, закатом, рассветом и любыми другими сценариями освещения.

3.2 Световое решение

Сияющий белый интерьер помогает создать яркий, запоминающийся образ, визуально расширяет пространство, создает праздничное торжественное настроение, правильное распределение яркостей и является хорошим контрастным фоном для выделения акцентов. Акцентами в свою очередь являются:

- Центральный остров, для которого предусмотрено RGB освещение
- Подиум с RGB динамическим сценическим освещением
- Фонтан и витрины с арт подсветкой

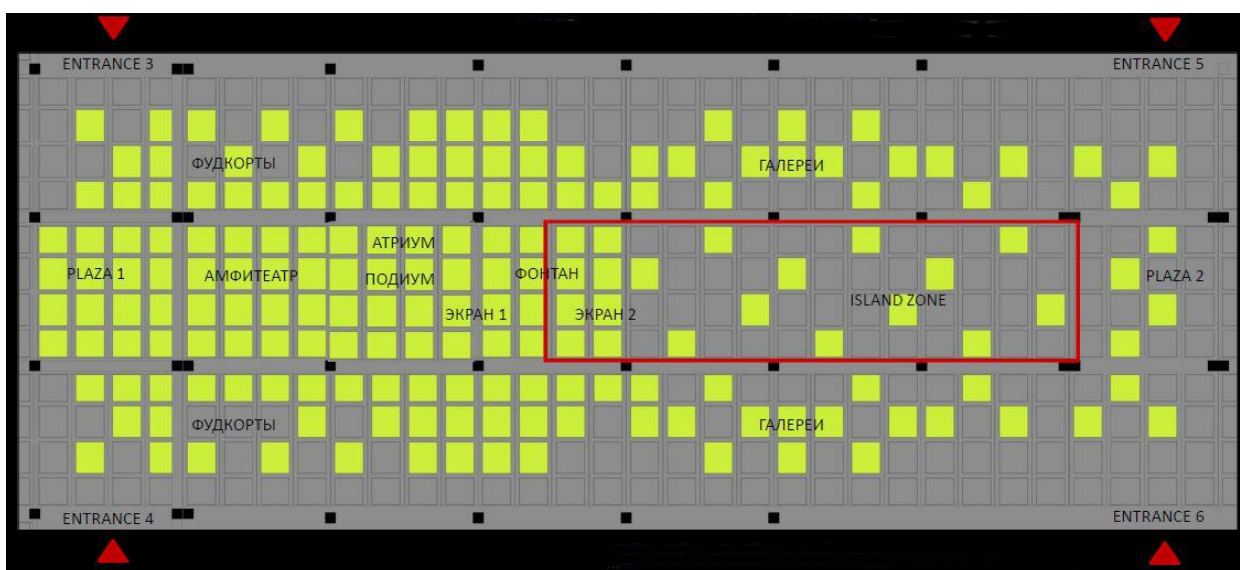


Рисунок 17 - План расположения основных зон

Торговый центр имеет уникальный единый кессонированный потолок, который объединяет под собой уровни А и В с амфитеатром и центральным островом. На всей протяженности галерей (длина - 170 м) потолок прочитывается, как структурный узор из 4-ех сотен квадратов (274-х из них заполнены светом).

Строение потолка позволяет применить главное дизайнерское решение - при помощи «светящихся» ячеек создать эффект естественного уличного света. Этот свет наиболее яркий в центре комплекса, где высота максимальна

и достигает 6м. Здесь создается имитация насыщенной светом городской площади. Далее моделируется постепенное «рассеивание» света по мере отдаления от центрального пространства (по направлению движения к входам/выходам).

Цель такого светового решения – изменить восприятие интерьера как подземного города, позволить покупателю ощутить себя в пространстве под открытым небом.

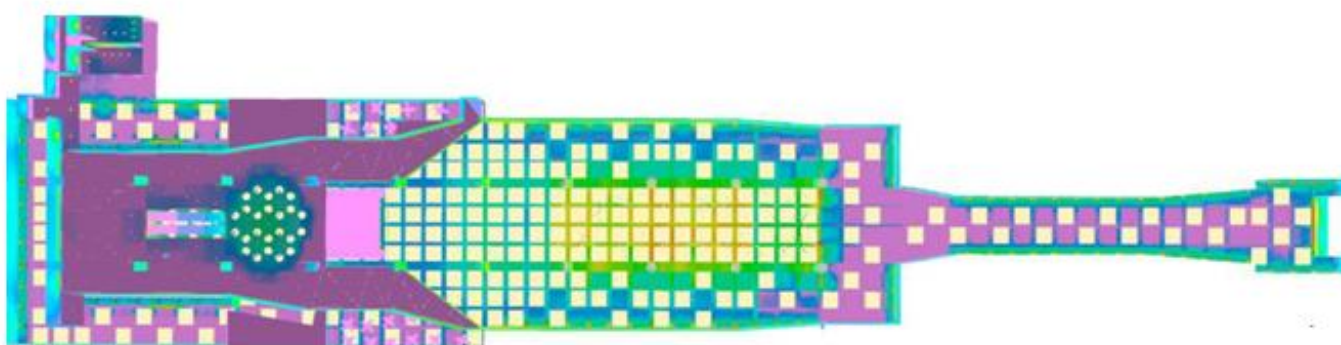


Рисунок 18 – План расположения светильников

Свет в кессонированном потолке отвечает ряду важных требований.

Во-первых, обеспечивает требуемый уровень освещенности подземных помещений, во-вторых, обеспечивает равномерный рассеянный свет на всей протяженности галерей, в-третьих, позволяет осуществить концепцию атриума, создающую иллюзию нахождения под уличным небом.

В атриуме создана так называемая «фокусная точка» с повышенными уровнями освещенности с помощью акцентной группы кессонов в центре комплекса. В галереях светящиеся кессоны имеют шахматное расположение, частота которого постепенно учащается по мере приближения к центральному «фокусному» пространству – пространству Атриума.

По проекту предусмотрены два типоразмера кессонов. Для них разрабатываются светодиодные модули, созданные на основе RGBW LED

матриц. Конструкция монтируется на дно кессона с помощью анкеров, подвод кабеля идет с помощью штробления. Вся конструкция зашивается 2мя пленками Barrisol: Прозрачная для предотвращения загрязнения матовой пленки под ней, матовая пленка - для создания необходимого светорассеивающего эффекта.

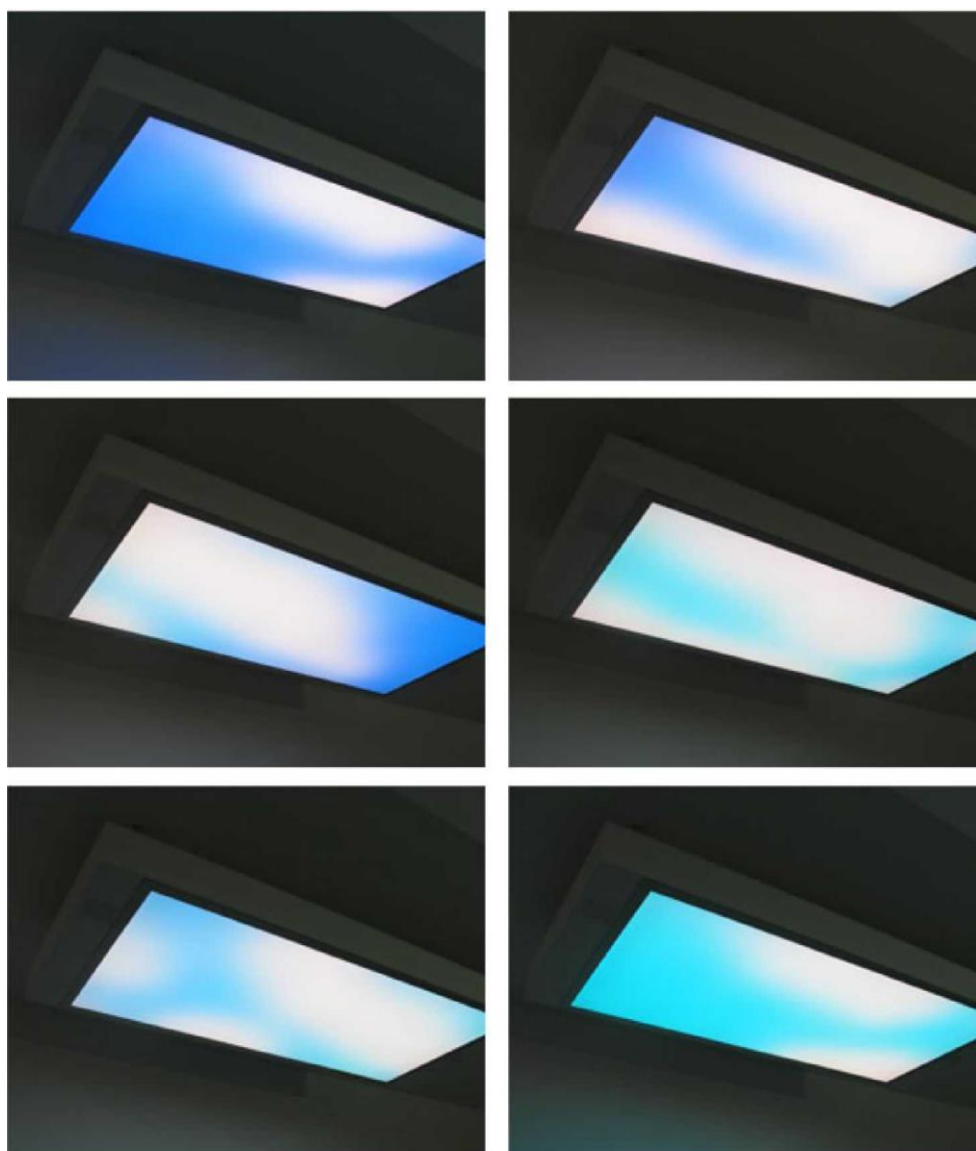


Рисунок 19 – Светящиеся кессоны, имитирующие дневное небо

Кессоны в зоне лаундж обладают управлением разной степени сложности. В первом случае они диммируются и изменяется цвет всего кессона полностью. Во втором случае каждый пиксель в кессоне управляется

отдельно, таким образом превращая второй тип кессонов в медиа-экран низкого разрешения. На таком медиа экране возможно воспроизводить общие свето-цветовые или свето-теневые формы. Он может использоваться для создания нужного настроения и атмосферы.

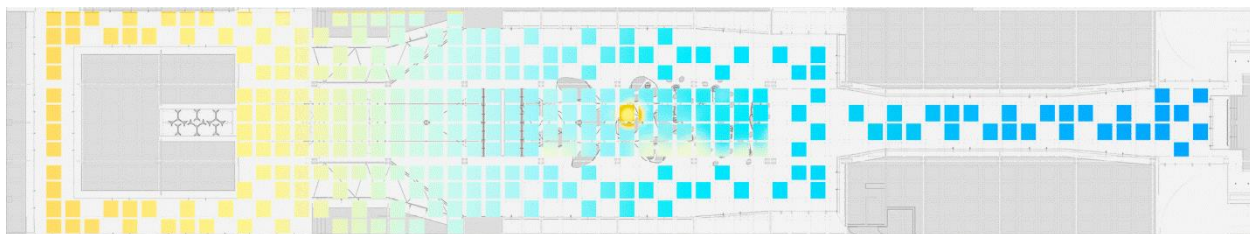
Комфортное освещение в подземных галереях должно осуществляться за счет освещенности не ниже 500 люкс, при этом важно и значение цилиндрической (вертикальной) освещенности, тогда как в зоне атриума освещенность должна составлять порядка 1000 люкс.

В данном проекте были разработаны следующие цветодинамические сценарии:

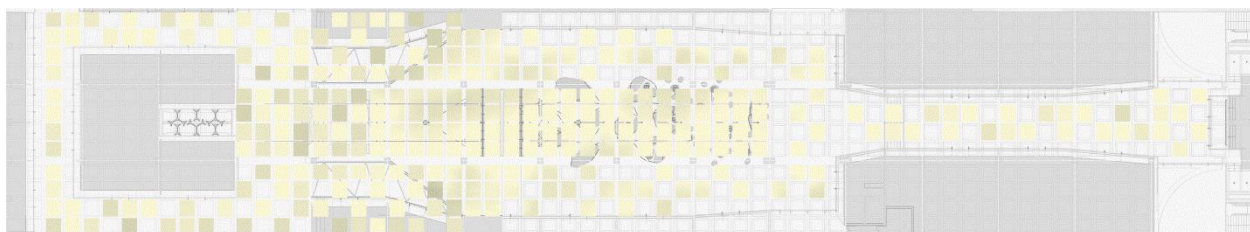
1й и основной сценарий (рисунок 20а)) – имитация дневного неба, изменяющего цветность излучения с течением суток. Для выполнения соответствия условий световой среды в торговых галереях условиям на улице, снаружи устанавливаются специальные датчики, которые считывают информацию об освещении и транслируют ее внутрь помещения, задавая программу LED-модулям, установленным в кессонированном потолке. Диапазон изменения цветовой температуры освещения - от температуры излучения дневного неба 6500К (утро, день) до 2800К (вечер, закат). Для реализации данного проектного решения необходимо учитывать изменения цветовых характеристик освещаемых цветных объектов, поскольку не стоит забывать, что в торговой галерее ТЦ могут быть расположены стойки с цветным товаром. В рамках данной магистерской диссертации были проведены исследования данного вопроса на экспериментальной осветительной установке.

2й сценарий освещения предусматривает постоянную цветность и создание светотеневого рисунка на кессонированном потолке, имитирующего движение облаков по небу (рисунок 20б)). Это решение более простое и коммерчески выгодное, поскольку используются LED матрицы теплого белого света без возможности изменения цветности излучения, диммируемые только по уровню яркости. Цветовая температура

светодиодных панелей предполагается около 4000 К, однако, было бы правильнее так же исходить из предпочтений наблюдателей при наблюдении цветных объектов и выбирать цветовую температуру излучения, основываясь на результатах эксперимента.



а)



б)

Рисунок 20 – Сценарии диммирования кессонов

По строению потолка предполагается, что габаритные размеры первого типа кессонов составляют $1 \times 0.8 \times 0.24$ м. Последняя величина (высота) была выбрана с учетом расчета. Для того, чтобы посетителям было комфортно находиться в помещении со светящим потолком, его яркость должна составлять примерно $1500-2000$ кд/м². Исходя из этого, было выбрано необходимое число светодиодов в матрице, которое составило 440 шт (20x22 шт.), каждый мощностью 4.8Вт и световым потоком 70 лм. Расчет в Dialux показал, что при таком выборе светодиодов яркость на поверхности рассеивателя кессона составит 4000 кд/м², а значит, при учете, что пропускание рассеивателя составляет около 50%, яркость выходного отверстия кессона составит необходимые 2000 кд/м². Для кессона второго типоразмера ($1 \times 1 \times 0.24$ м) по расчету необходимо 550 светодиодов той же мощности.

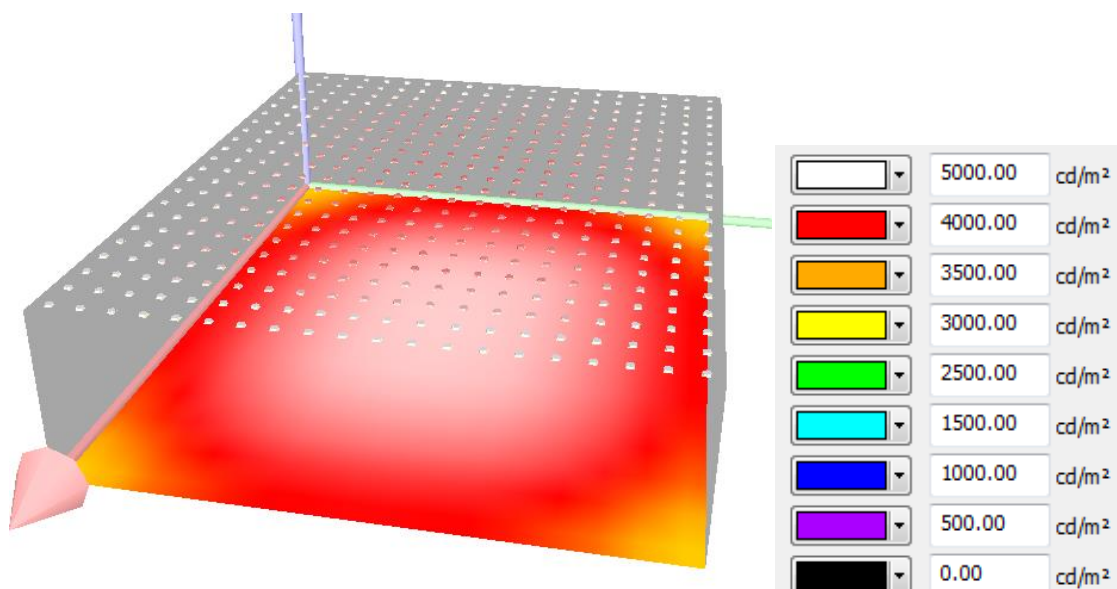


Рисунок 21 - Расчет яркости на поверхности рассеивателя кессона

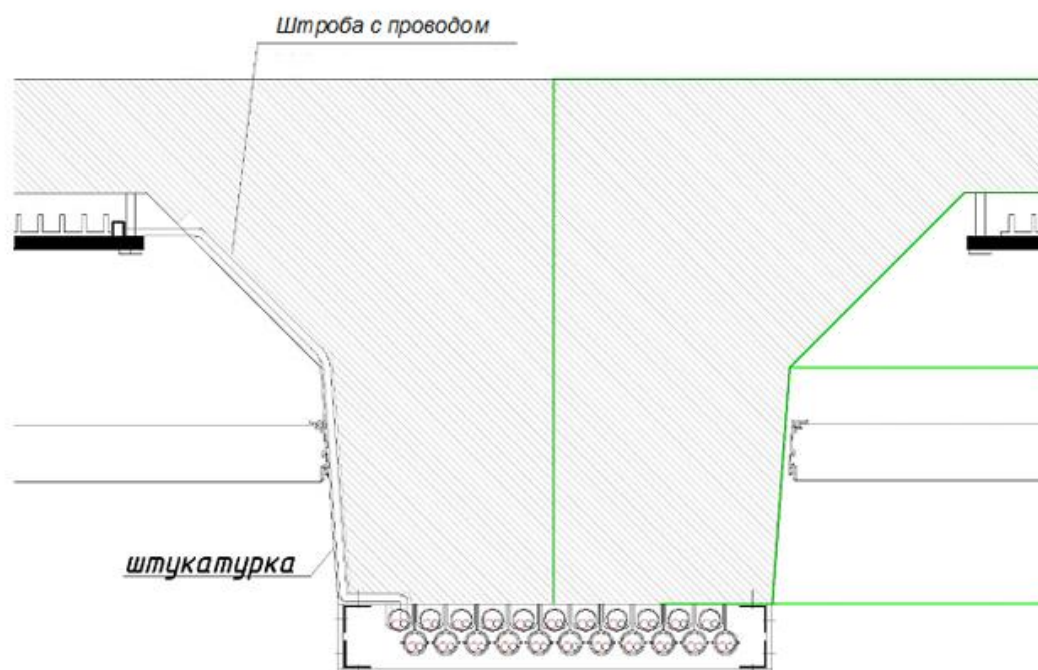


Рисунок 22 – Конструкция и монтаж кессона

Для создания необходимых световых эффектов используется системное управление и диммирование кессонов, которое может осуществляться в зависимости от заданной программы. Кессоны разбиты на группы управления.

Акцентное освещение

В поддержание концепции в зоне лаундж используются дополнительные акцентные светодиодные прожекторы.



Рисунок 23 – Светильники, используемые для акцентного освещения

Светильники размещены на двух параллельно расположенных треках, что позволяет подстроить освещение под изменяющуюся экспозицию в лаундж зоне, состоящую из мебели, выполненной из белого кореана. Декоративные объекты мебели являются доминантами в данной зоне.

Прожекторами создаются уровни освещенности, в несколько раз превышающие общее освещение, что создает необходимый контраст, помогает выделить в пространстве всю декоративно-скульптурную группу.



Рисунок 24 – Пример акцентного освещения

Установка светильников ведется на шинопровод, который, в свою очередь, монтируется на конструкции стыка кессонов. Для каждой фигуры из кореана предусмотрено по 2 прожектора с широким лучем.

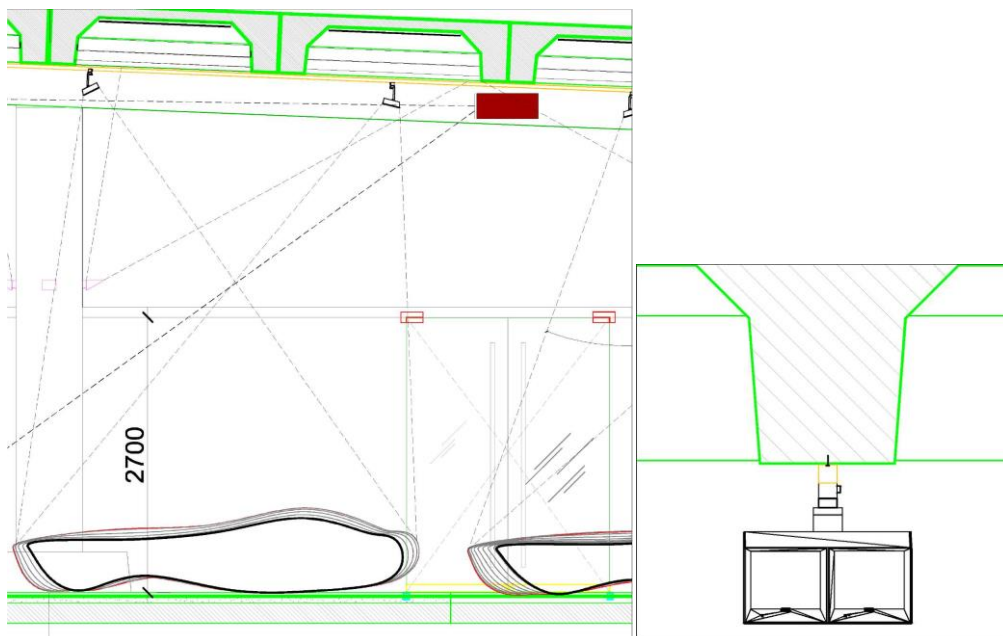


Рисунок 25 – Установка светильников акцентного освещения

Для каждого столика предусмотрен один прожектор с узким лучем.

Парящий потолок

Для того, чтобы облегчить массивные конструкции кессонов в зоне лаундж и приподнять потолок, создавая дополнительное зонирование в этой части комплекса, на колоннах устанавливаются светильники типа uplighter.



Рисунок 26 – Световой эффект при использовании светильников типа uplighter



Рисунок 27 – Используемый светильник

Конструкции по периметру галереи освещаются с помощью светильников, спрятанных в техническом пространстве за фризом. Это создает «парящий потолок», то есть делает его легче, и не позволяет ему провалиться в темноту, которую создает техническое пространство за фризом. Такое освещение так же выполняет навигационную роль, ведя

посетителей вдоль галерей. Подсветка потолка по периметру помещения осуществляется с помощью специальной эллиптической оптики.

По всему периметру светильник монтируется на фиксированном расстоянии от потолка и панели фриза. Расстояния для установки светильника выбраны таким образом, чтобы на протяжении всего комплекса он оставался невидим для посетителей.

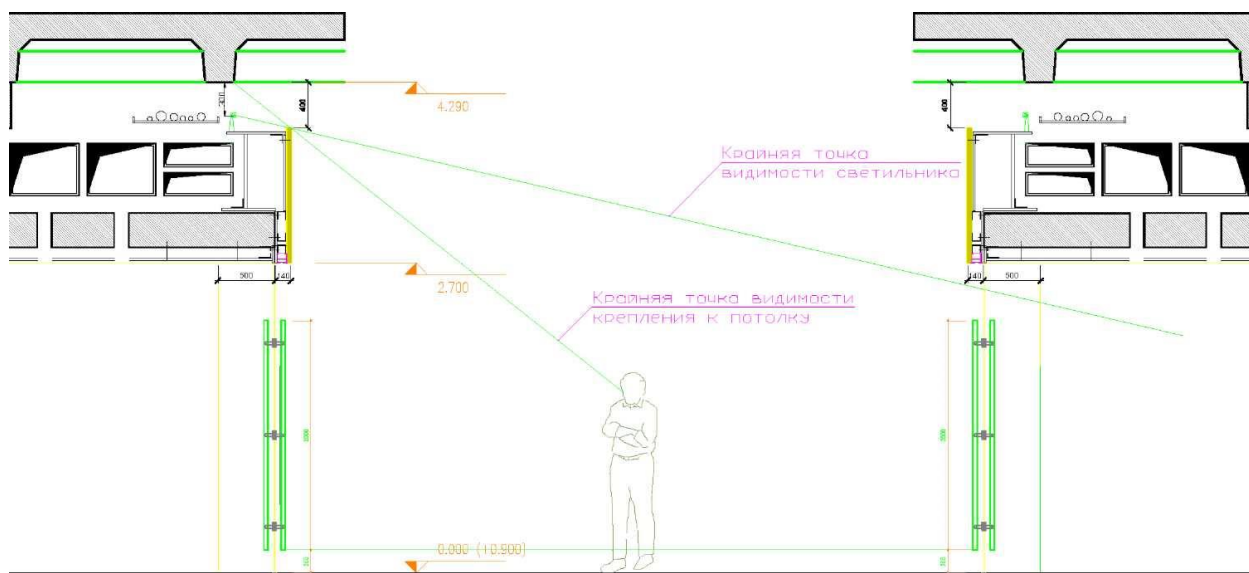
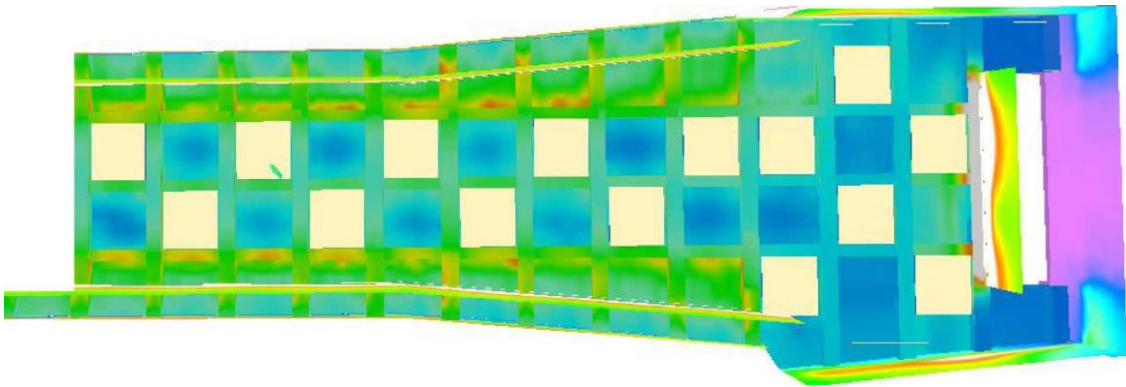
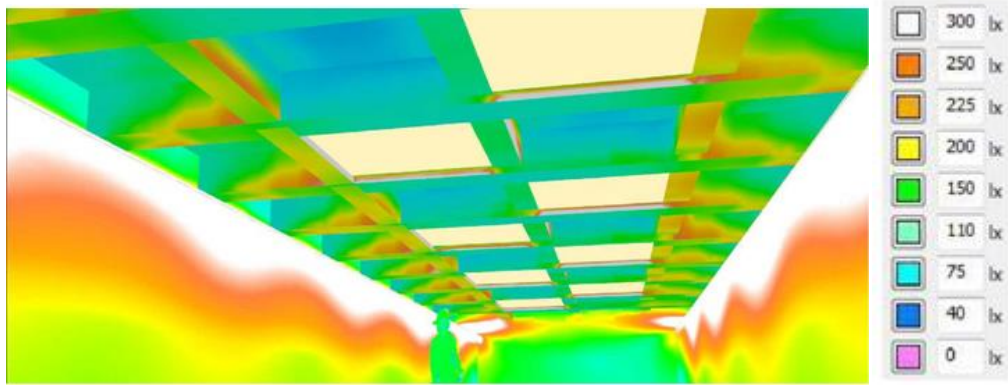
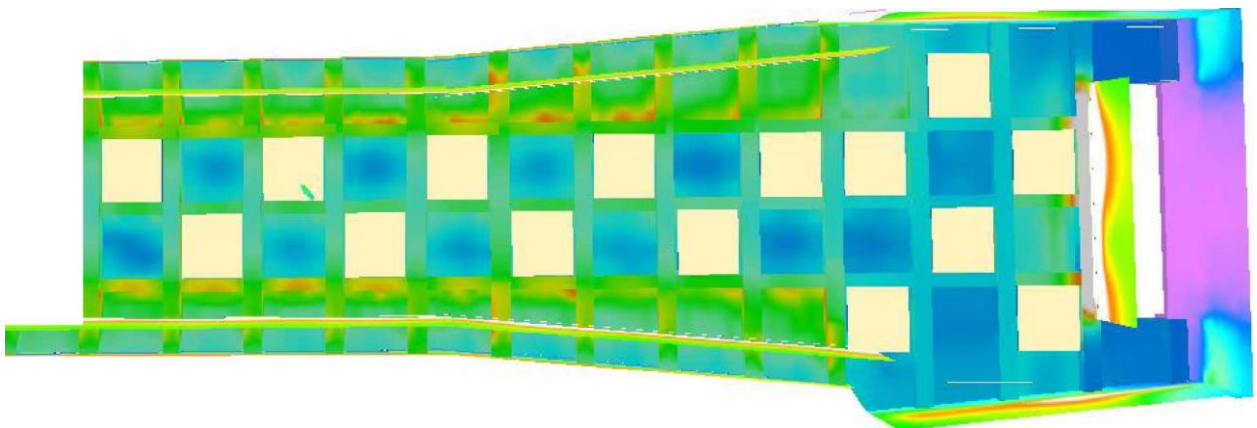
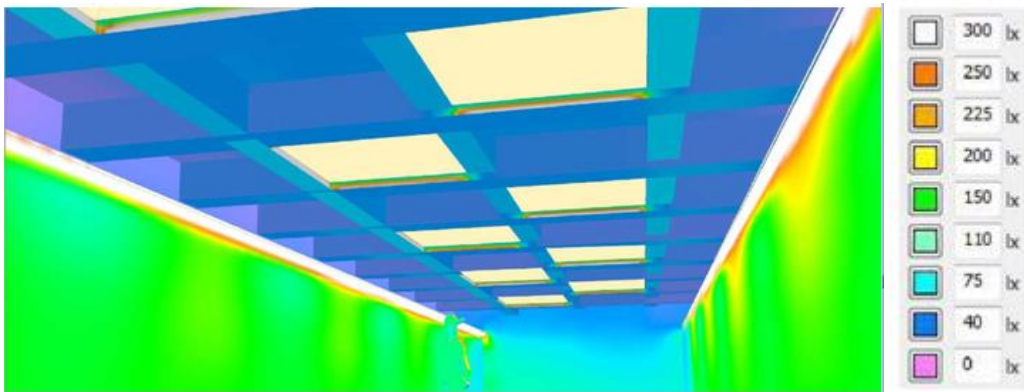


Рисунок 28 – Монтаж светильников

В качестве примера представлен потолок в зоне галерей. На виде рисунке 29 а) продемонстрирован эффект, получаемый от применяемых светильников. На рисунке 29 б) продемонстрирован эффект без применения каких либо светильников



a)



б)

Рисунок 29 – Световой эффект от светильников типа uplighter

Свето-цветовая индикация буферной зоны витрин

По периметру комплекса на уровне перекрытия торговых площадей вдоль витрин устанавливается встраиваемый RGBW светильник. Он участвует в общих световых сценариях и является свето-цветовой индикацией, задающей поток движения посетителей и подчеркивает единое световое решение по всему комплексу.



Рисунок 30 – Используемый светильник

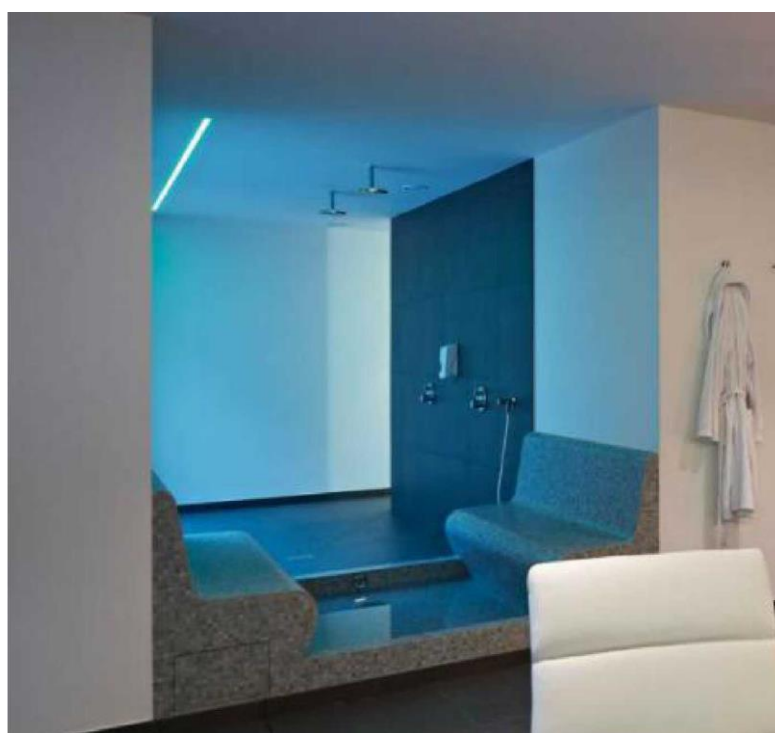


Рисунок 31 – Световой эффект при использовании выбранного типа светильников

По всему периметру витрин светильник монтируется в пространство между декоративной панелью фриза и конструкциями витрины.

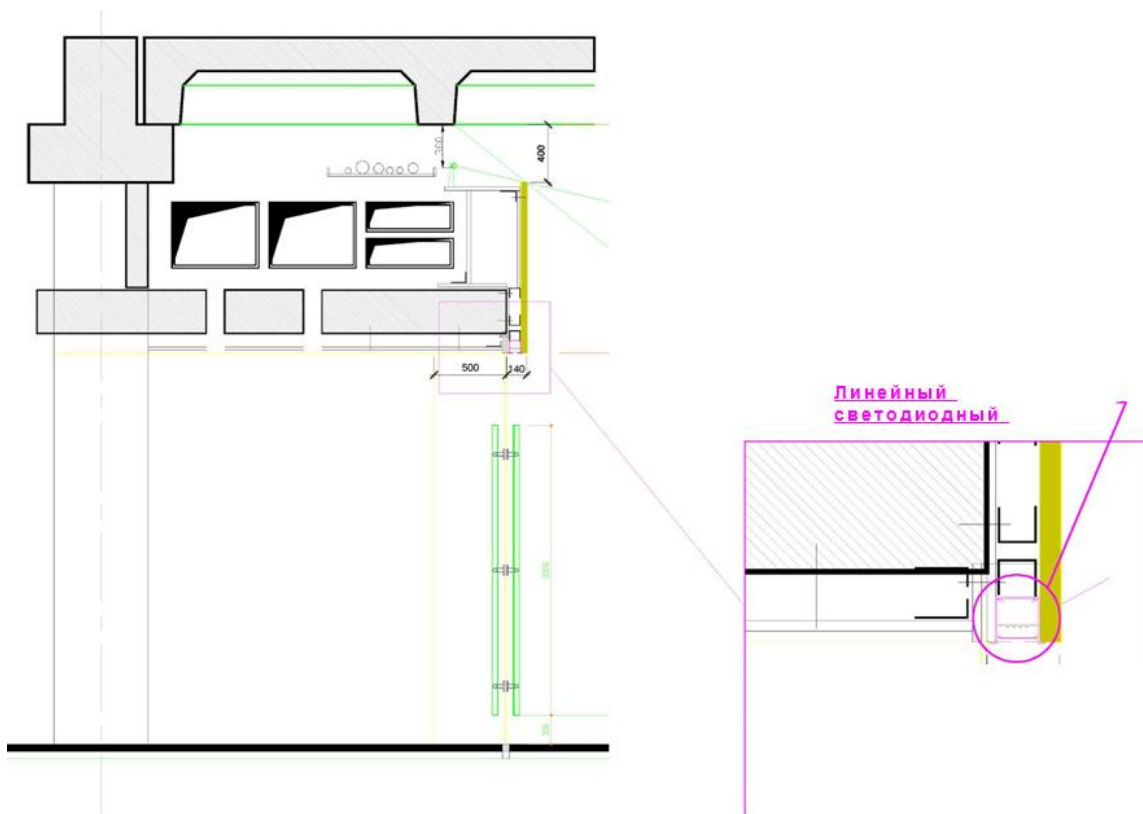


Рисунок 32 – Монтаж светильников

Освещение зоны под антресолю

Зона под антресолю освещается с помощью технических светильников двух диаметров. Светильники состоят из 2х частей:

- гипсовая закладная под штукатурку;
- светящая часть светильника;



Рисунок 33 – Используемые светильники

Таким образом, в потолке образуются светящиеся отверстия, продолжающие идею кессонированного потолка и биоморфных форм из коряны - создается иллюзия проходящего через отверстия в потолке уличного света. Светильник с прожектором используется в зоне кафе для акцентного освещения столиков.

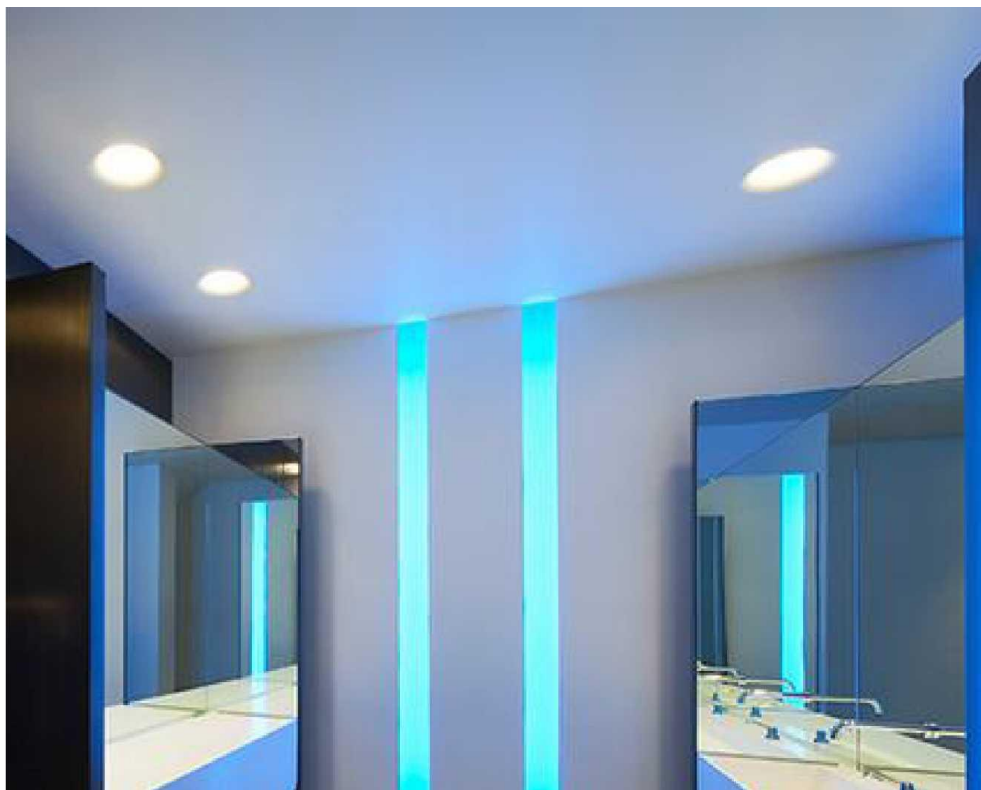


Рисунок 34 – Световой эффект при использовании выбранного типа светильников

Технический свет в зоне антресоли

Под крыльями фудкорта, в зоне потолка «оригами» из металлических панелей с чеканкой, освещение осуществляется с помощью встраиваемых линейных светодиодных светильников.



Рисунок 35 – Используемый светильник

Декоративное освещение в зоне под антресолю

Для дополнительного зонирования над кафе под амфитеатром, на потолке предусмотрен геометрический узор из светильников RGB. Светильник представляет собой арт объект - «скульптурный» светящийся элемент, который собирается в сложные формы.



Рисунок 36 – Используемый светильник

Декоративный свет над элеваторами

Над элеваторами создается световой арт-объект. Он заполняет пространство над элеваторами, создавая световой массив.



Рисунок 37 – Используемые светильники

Вариант 1. Массив светильников сложной формы устанавливается в пространстве над элеваторами. Они заполняют собой практически все пространство. Витрины выполнены из стекла.



Рисунок 38 – Вариант 1

Вариант 2. Массив светильников из хаотичных световых линий устанавливается в пространстве над элеваторами. Они заполняют пространство, создавая бесконечный световой массив благодаря отражению в стекле витрин, выполненном из зеркального или хромированного стекла.

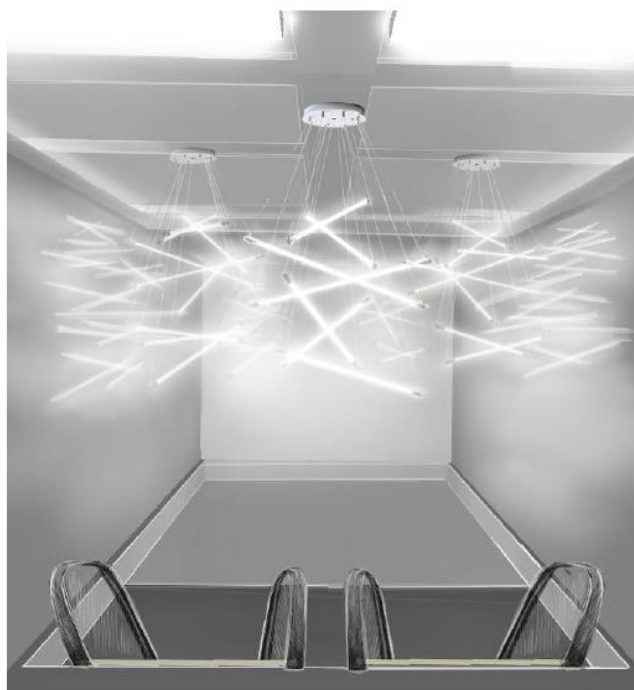


Рисунок 39 – Вариант 2

Технический свет

Встраиваемый светильник с поворотной светящей частью с широким светораспределением используется для освещения подсобных помещений и санузлов.



Рисунок 40 – Используемый светильник

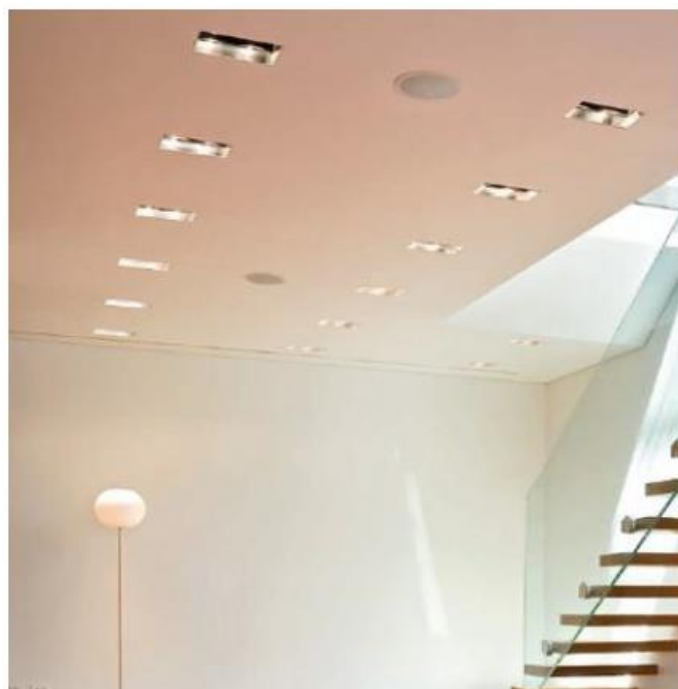


Рисунок 41 – Световой эффект при использовании выбранного типа светильников

Проектор

Одной из составляющих концепции является видео проектор. Средняя освещенность на экране составляет около 300лк при использовании всего окружающего света на 100%. Для корректного отображения материала необходимо создавать контрастность освещения от проектора и общего освещения около 75-50:1.

Проектор с потоком лампы 30000-40000лм при этих условиях создает контраст около 5:1, что позволяет воспринимать материал. Но для более качественного отображения на время презентации необходимо снижать общую освещенность на экране до 10-50лк.

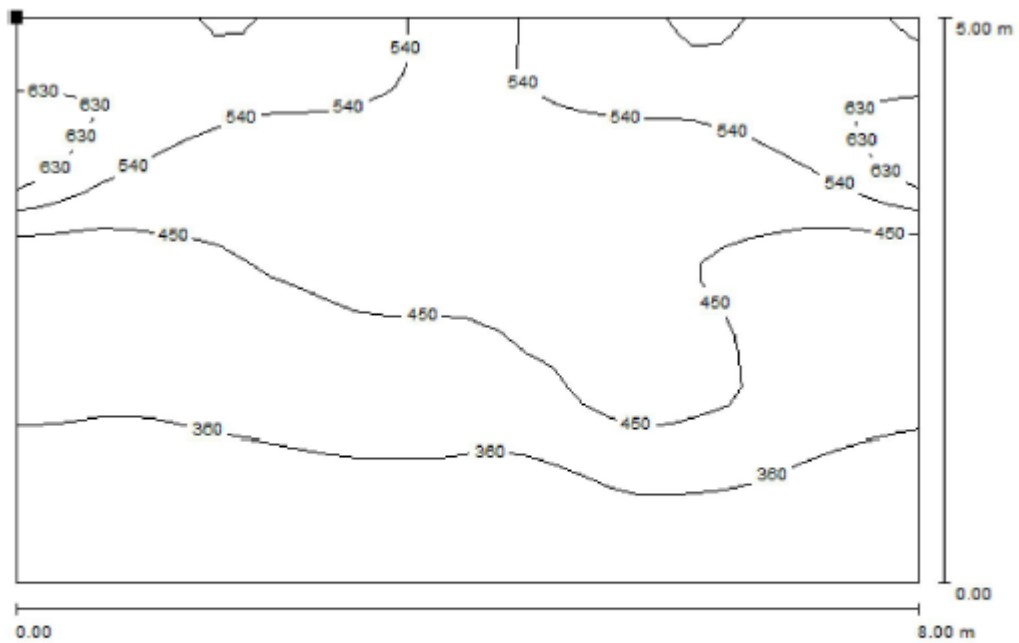


Контрастность 2:1



Контрастность 50:1

Рисунок 42 – Вид на экране при разной степени контрастности проектора



E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}	E_{min} / E_{max}
445	291	717	0.654	0.406

Рисунок 43 – Расчет освещенности на экране

В ходе данной работы был проведен так же светотехнический расчет освещенности с выбранными приборами. Полная спецификация оборудования представления в Приложении 1.

В Приложении 2 приведены чертежи с расстановкой указанного оборудования по всем зонам ТЦ.

Результаты расчетов приведены далее:

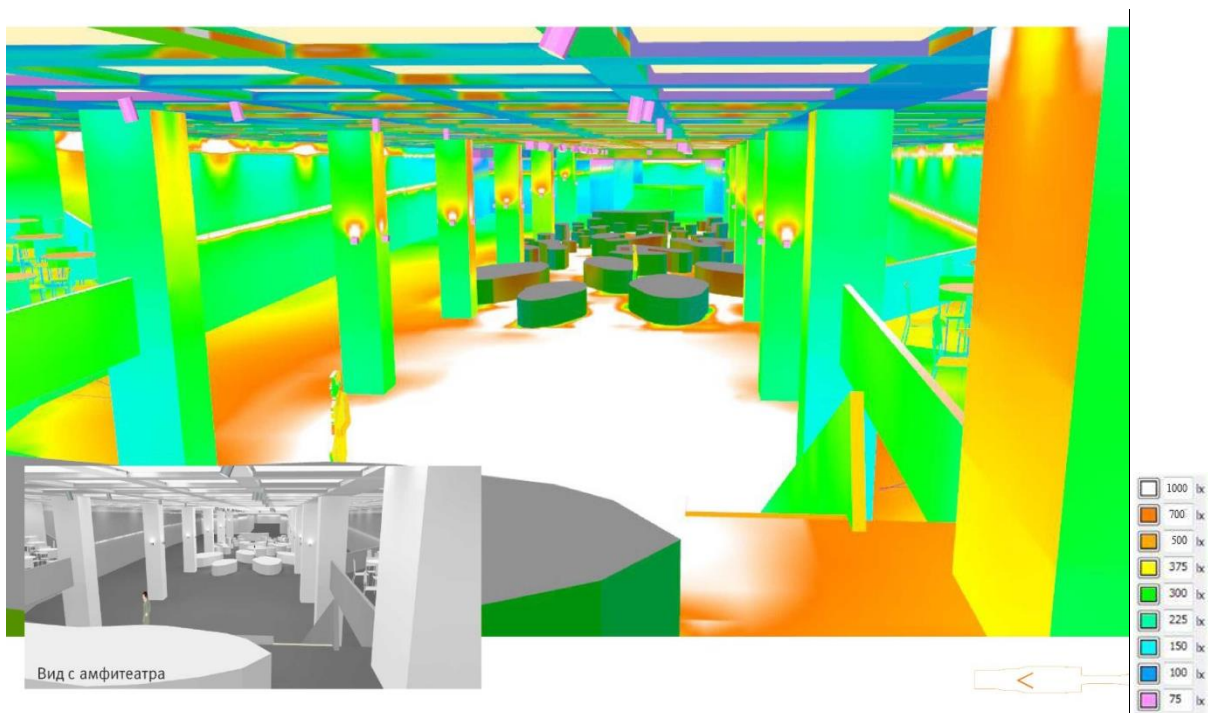


Рисунок 44 – Вид из зоны амфитеатра

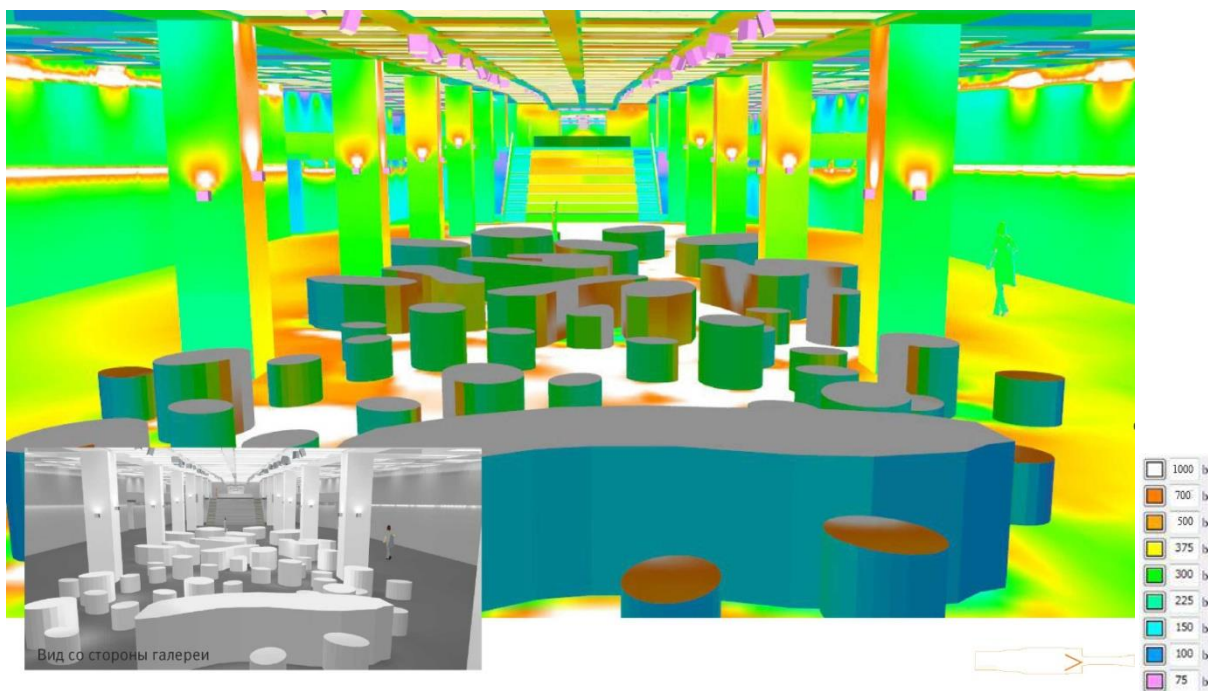


Рисунок 45 – Вид из галереи

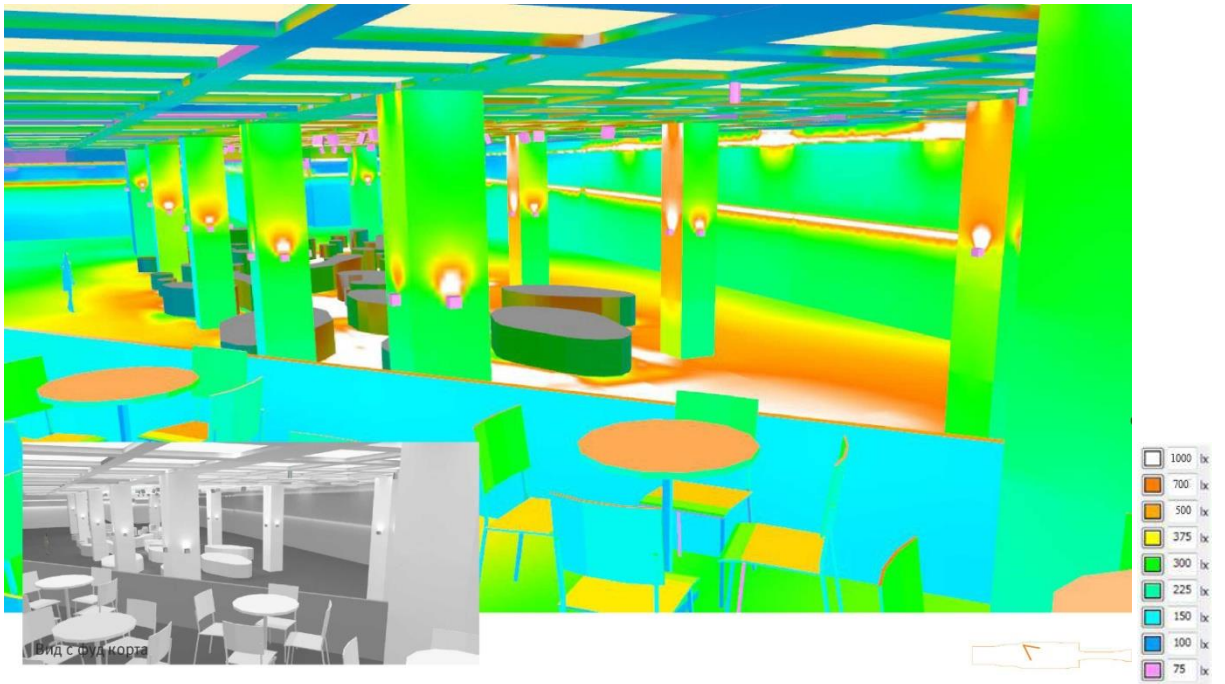


Рисунок 46 – Вид с фудкорта

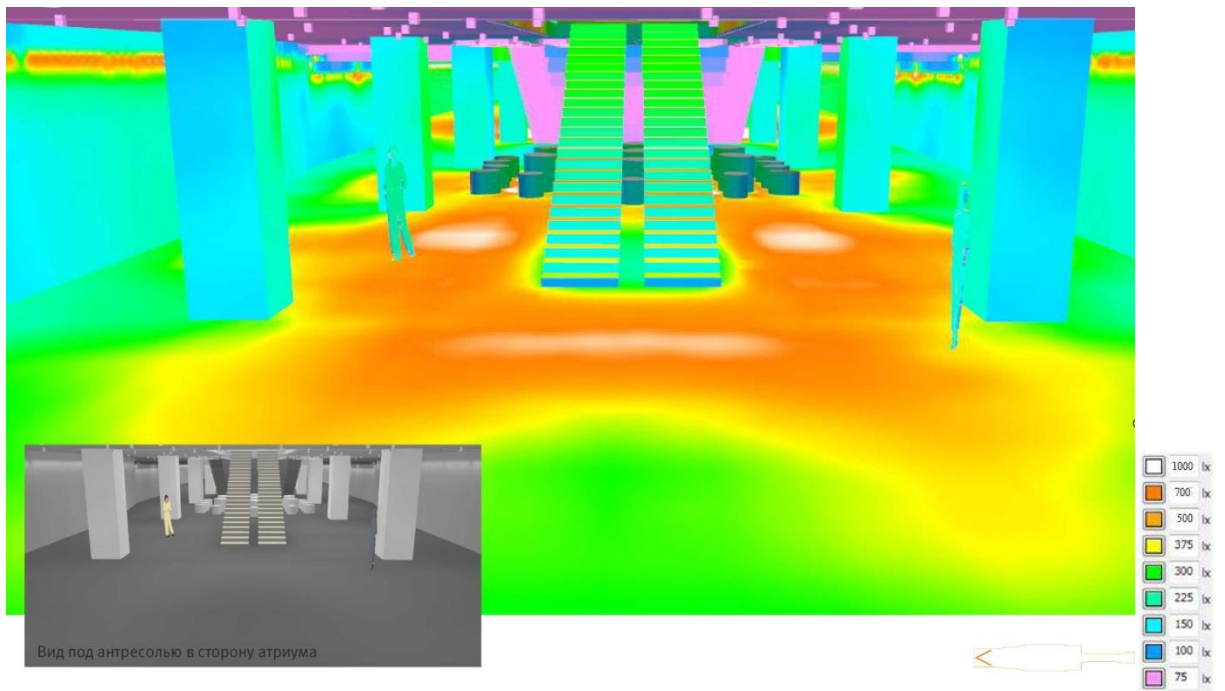


Рисунок 47 – Вид на атриум в зоне под антресолю

4 Экспериментальная часть

4.1 Описание экспериментальной установки

Установка - «цветовой короб» (colourbox) с возможностью изменения спектра излучения установленного в нем светового прибора в широком диапазоне с возможностью сохранения одного и того же уровня освещенности [20].

Установка представляет из себя короб размером 760x500x500 мм. На рис. представлена трехмерная модель установки, созданная в программе 3D Max.

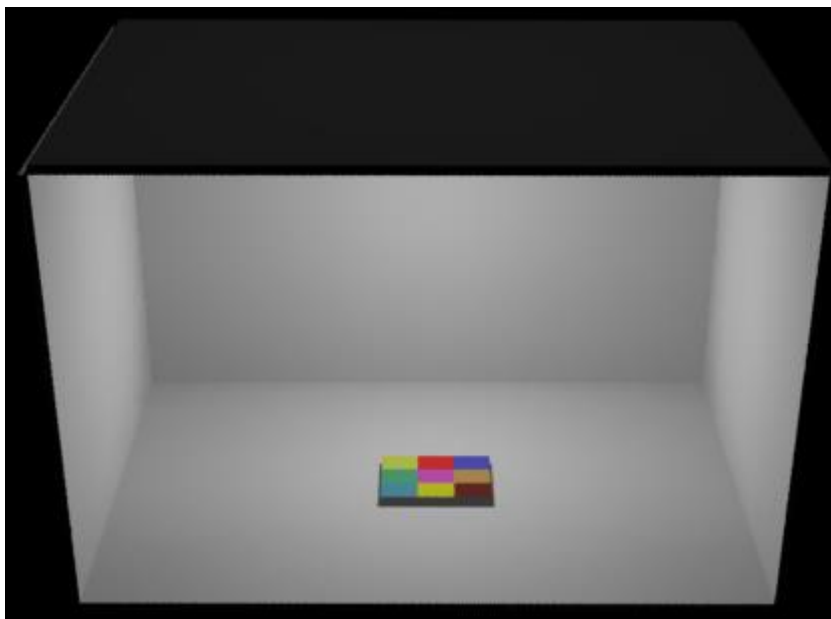


Рисунок 48 – Трехмерная модель экспериментальной установки

Для установки используются светоизлучающие диоды, применяющиеся с системами управления. Используется четырехкристальная сборка, которая по сравнению с трехкристальной выигрывает по качеству цветовых характеристик и величине цветового охвата цветностей излучения.

В установке используются светодиоды компании CREE серии XP-E. Компания CREE является одним из лидеров в области создания мощных светодиодов. Использовались следующие светодиоды Xlamp XP-E:

- 1) Royal Blue
- 2) Green
- 3) Amber
- 4) Red

Их характеризуют следующие бины (диапазон параметра. минимальный для данной системы сортировки) по световому потоку:

Таблица 2 – Характеристики выбранных СД

Цвет СД	Бин по световому потоку	Мин. Значение светового потока, лм
Royal Blue	14	350 мВт
Green	Q4	100
Amber	M3	45.7
Red	N2	51.7

Типовое спектральное распределение излучения данных светодиодов показано на рисунке 49.

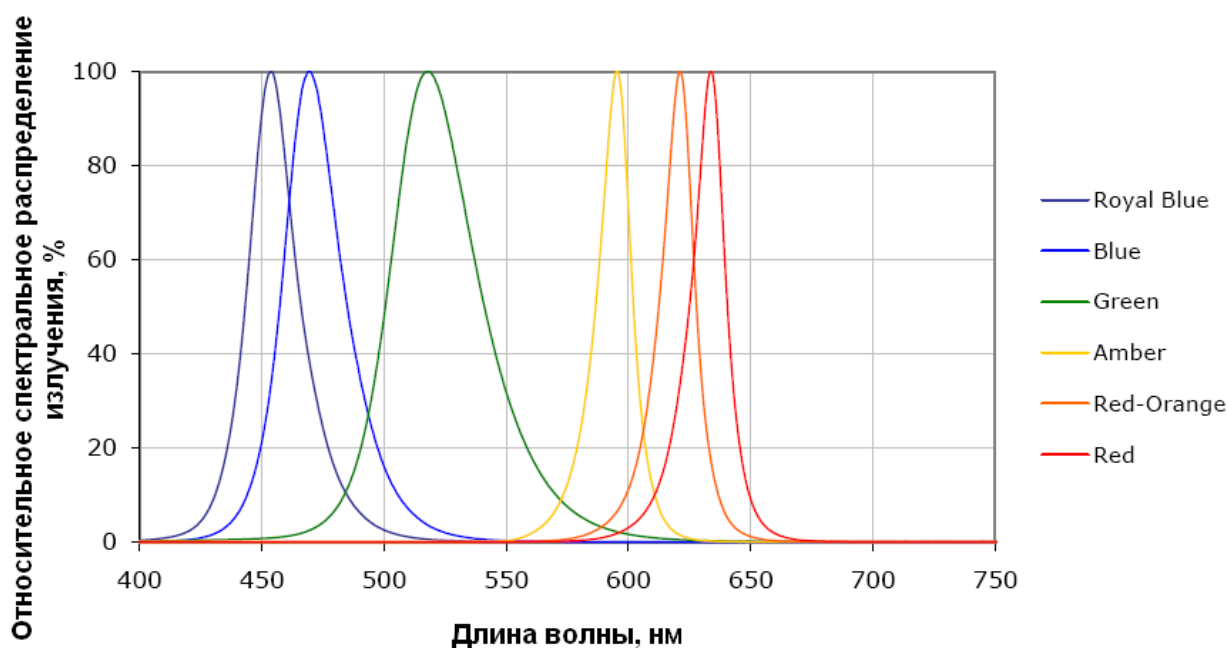


Рисунок 49 – Относительное спектральное распределение излучения СД Xlamp XP-E

В инженерной практике проектирования световых приборов на основе СД пользуются понятием температуры точки пайки T_{sp} . При создании СД светильников, одним из стандартных значений T_{sp} которое закладываются при начальном проектировании (оценке светового потока) является $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. При $T_{sp} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ у светодиодов XP-E были взяты данные из программы PCT распространяемой компанией CREE, в которой заложена зависимость светового потока СД различных производителей в зависимости от тока и температуры T_j либо T_{sp} . Данные, взятые из PCT, представлены в таблице

Таблица 3 – Значения светового потока для каждого из СД

Цвет СД	Мин. Значение светового потока при $T_{sp} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	Ток, мА
Royal Blue	327.8 мВт	350
Green	89.5	
Amber	24.6	
Red	37.2	

В установке использовано следующее количество светодиодов разного цвета:

Таблица 4 – Количество каждого из СД в установке

Цвет СД	Кол-во СД, шт.
Royal Blue	3
Green	8
Amber	29
Red	8

Для освещения внутренней поверхности экспериментальной установки используется встроенный в корпус осветитель с размерами $350 \times 350 \times 150$ мм. оптическое отверстие которого закрыто опаловым рассеивателем, за счет которого можно добиться хорошей равномерности освещенности по поверхности установки. Размеры осветителя были установлены из

соображений минимальной высоты и максимальных длины и ширины для обеспечения смешения и необходимого светового потока.

Осветитель для экспериментальной установки отвечает следующим требованиям:

- 1) обеспечивает смешение излучения цветных светодиодов
- 2) обеспечивает отсутствие экстремального температурного режима работы СД
- 3) обеспечивает равномерное освещение поверхностей корпуса
- 4) обеспечивает возможность отдельного управления каждым цветным СД в широком диапазоне
- 5) существует возможность свободного отделения осветителя от корпуса установки

Материал корпуса осветителя отвечает следующим требованиям:

- 1) высокая прочность
- 2) для верхней крышки ОП (на которой располагаются СД) – высокая теплопроводность
- 3) высокий коэффициент отражения и неселективность к спектральному составу излучения в видимом диапазоне
- 4) материал рассеивателя должен обладать характеристиками близкими к молочному стеклу

В связи с этим, боковые крышки сделаны из обычного железа толщиной 2мм, что обеспечивает необходимую прочность ОП и облегчает вес конструкции. Отражающие свойства создаются при помощи листов микропористого полиэтилентерефталата (МСПЕТ) производства компании Furukawa. Светотехнические характеристики МСПЕТ представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Свойства материала МСРЕТ, использованного в установке

Свойства	Описание
Материал	Вспененный ПЭТ, белого цвета (из полиэтилена терефталат)
Общее отражение	99% (по сравнению с отражающей способностью BaSO ₄ на 550нм)
Диффузионное отражение	96% (по сравнению с зеркальностью BaSO ₄ на 550нм)
Тест яркость	IEC 60695 GWFI 960/0.95, GWIT 850/0.95

Крышка рассеивателя сделана из алюминиевого сплава толщиной 3 мм, что обеспечивает быстрый отвод тепла от СД. В качестве материала рассеивателя было выбрано матированное оргстекло.



Рисунок 50 – Внешний вид рассеивателя

В качестве материала для корпуса была выбрана деревянная фанера толщиной 9 мм, для обеспечения белого неселективного фона покрытая ватманом.

В качестве блока питания в установке используется AC-DC преобразователь LPF-60-36 компании MeanWell с выходным напряжением постоянного тока – $36 \pm 4\%$ В. Выходное напряжение стабилизируется при значениях входного от 90 до 305В, что позволяет не беспокоиться из-за качества сетевого питания. В качестве способа управления величиной выходного тока драйвера используется ШИМ (широтно-импульсная

модуляция). Используется драйвер компании Rainbow Electronics **P-LED-6DRV-M-P112x37-RT112.01** имеющий следующие характеристики:

Таблица 6 – Характеристики каналов управления

Напряжение питания драйвера	- 12...50 В. постоянного тока
Номинальный ток питания светодиодов	- 350 мА
Потребляемый ток драйвера. без управления	- не более 40 мА
Метод токовой стабилизации	- импульсный
Кол-во токовых каналов	- 6

В качестве системы управления используется плата **P-CPU-AT-RS485-P130x46-RT007**, переводящая цифровой 8-ми битный сигнал, устанавливаемый на монохроматическом экране СУ, в сигнал ШИМ, подающийся на каждый канал драйвера. Характеристики платы представлены в таблице

Таблица 7 – Характеристики СУ

Напряжение питания	- 40-50 В. постоянного тока
Потребляемый ток контроллера. без нагрузки	- не более 40 мА
Количество ШИМ-каналов	- 4
Максимальная частота ШИМ	- 5кГц
Глубина градации яркости	- 256 (8 bit)
Выходное напряжение канала	- 0-5В
Уровень сигнала ШИМ лог.0. мин	- 0В
Уровень сигнала ШИМ лог.1 макс	- 5В
Максимальный выходной ток канала	- 1мА

Данная экспериментальная установка позволяет изменять спектральный состав излучения встраиваемого в нее осветителя посредством диммирования светового потока цветных цепочек СД, что, в свою очередь, дает возможность наблюдать цвет образцов, помещенных в экспериментальную установку под излучением с различной Тц и свойствами цветопередачи.

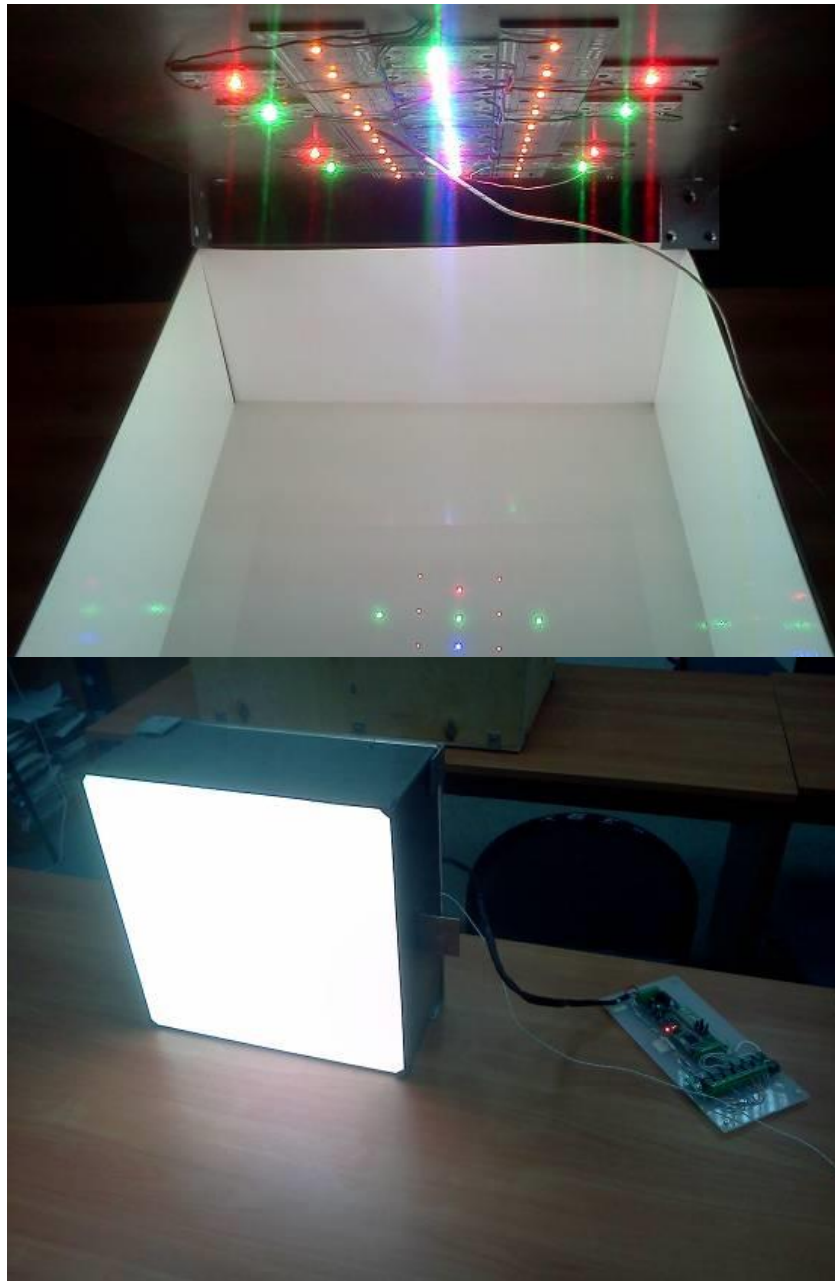


Рисунок 51 – Фотографии осветительного прибора

4.2 Методика проведения эксперимента

Благодаря психофизическому критерию оценки цвета образцов, выведенного Ньюбергом [19], становится понятно, что наблюдатели часто оценивают цвет образца как «красивый» вне зависимости от качества цветопередачи источника света. Целью проведенного эксперимента было установить закономерность среди предпочтений наблюдателей при освещении цветных образцов излучением различного спектрального состава с целью дальнейшего использования этих исследований при проектировании осветительных установок, призванных приукрасить цветную продукцию в магазинах, на выставках и тд.

Эксперимент состоял из 2х частей. Первая – измерение координат цветности 4х опорных цветов излучения светодиодов. С помощью программы Python выставлялось поочередно значение 255 на нужный канал (синий, зеленый, красный, оранжевый) и на все четыре для получения белого излучения. Измерения проводились с помощью телевизионного тристимульного колориметра LMT C2200. Его характеристики представлены в Приложении 3.

Ниже приведены полученные результаты измерений:

Таблица 8 – Результаты измерений координат цвета, цветности и яркости 4х опорных цветов

Белый (r=255, g=255, b=255, y=255)								
X	Y	Z	x	y	u	v (1960)	v` (1976)	L
32.98	26.33	20.38	0.4138	0.3304	0.2697	0.3230	0.4845	3191
Синий (b=255)								
2.25	0.64	11.83	0.1529	0.0434	0.1902	0.0811	0.1216	116.5
Зеленый (g=255)								
15.74	67.49	15	0.1603	0.68770	0.0587	0.3774	0.5660	1030
Красный (r=255)								
14.04	6.08	0.06	0.6956	0.3014	0.5324	0.3461	0.5194	658.8
Оранжевый (y=255)								
10.61	7.04	0.04	0.6001	0.3979	0.3651	0.3631	0.5447	985.7

Далее координаты 4х опорных цветов были отмечены на диаграмме цветности и далее графически найдены необходимые значения [21].

На рисунке 52 показано, каким образом графически находятся пропорции для смешивания опорных цветов 4х излучений. Для упрощения расчетов было взято соотношение оранжевого и красного излучения 1/1.

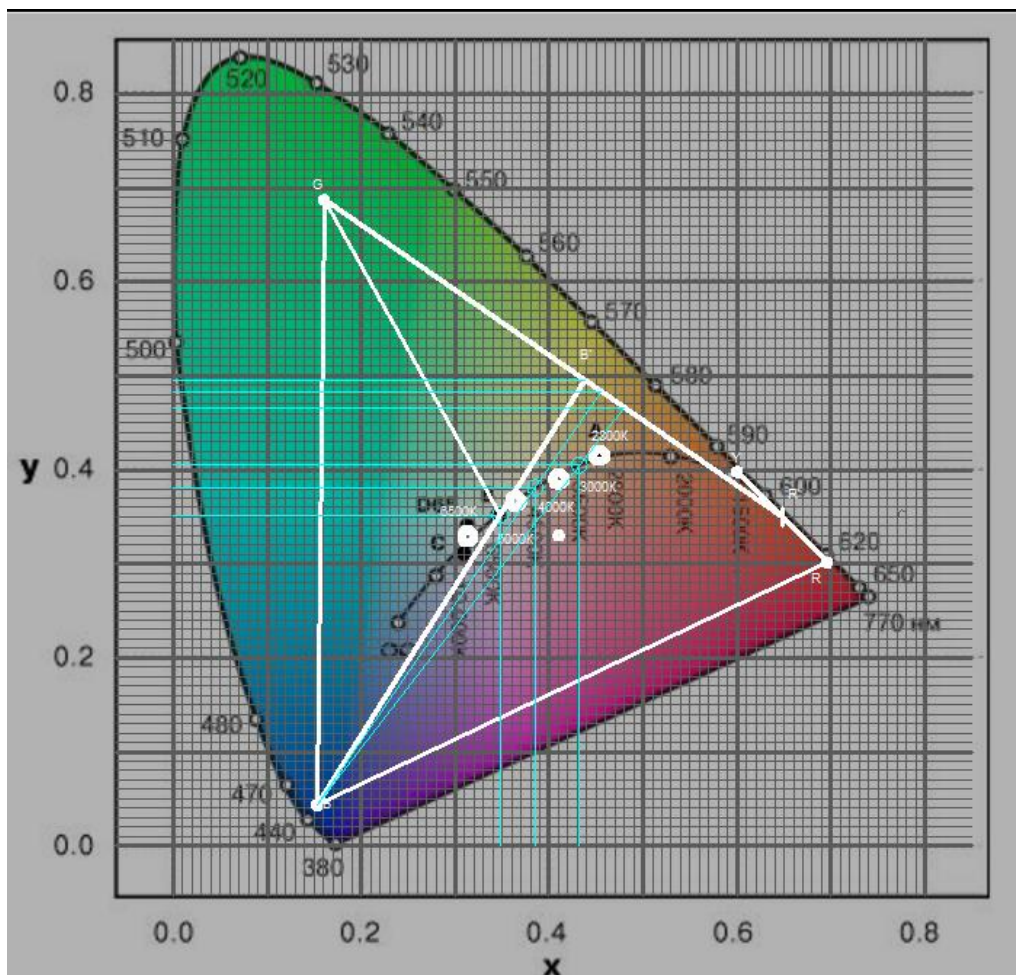


Рисунок 52 – Графический способ расчета пропорций смешивания опорных цветов для получения белого

Графически были найдены все необходимые для дальнейших расчетов координаты цветности (излучения белого, который необходимо получить, смеси красного и оранжевого и каждого из излучений остальных цветных СД)

Таблица 9 – Необходимые для расчета пропорций излучения данные

x_B		x_R		x_G		x_Y		$x_{R'}$			
0.1529		0.6956		0.4890	0.1603		0.6001		0.1529		
x_{D65}	$x_{B'}$	x_{5000}	$x_{B'}$	x_{4000}	$x_{B'}$	x_{3500}	$x_{B'}$	x_{3000}	$x_{B'}$	x_{2800}	$x_{B'}$
0.3127	0.4146	0.3476	0.4378	0.3852	0.4551	0.4100	0.4710	0.4320	0.4793	0.4528	

Пропорции излучений каждого цветного СД, которые необходимо смешать для получения белого света с координатами цветности, соответствующими координатам цветности эталонных источников с заданными цветовыми температурами. были найдены следующим образом:

$$F_{\text{ист}} = f1B + f2G + f3(R + Y) \quad (1)$$

$$f1 = \frac{x_{\text{ист}} - x_{B'}}{x_B - x_{B'}} \quad (2)$$

$$f2 = (1 - f1) \frac{x_{B'} - x_{R'}}{x_G - x_{R'}} \quad (3)$$

$$f3 = (1 - f1) \frac{x_{B'} - x_{G'}}{x_{R'} - x_{G'}} \quad (4)$$

Итоговые соотношения приведены в таблице:

Таблица 10 – Полученные пропорции смешивания 4х опорных цветов

	6500 K	5000 K	4000 K	3500 K	3000 K	2800 K
f1	255	223	127	95	66	46
f2	191	193	167	146	135	123
f3	106	255	255	255	255	255

Для проведения визуальных экспериментов было выбрано 7 наблюдателей, студентов кафедры светотехники. Исследования проводились в темной комнате при отсутствии посторонних источников света. В ящик с экспериментальной установкой были помещены 18 образцов МЭИ с известными спектральными коэффициентами отражения, наклеенные на белый неселективно отражающий картон.

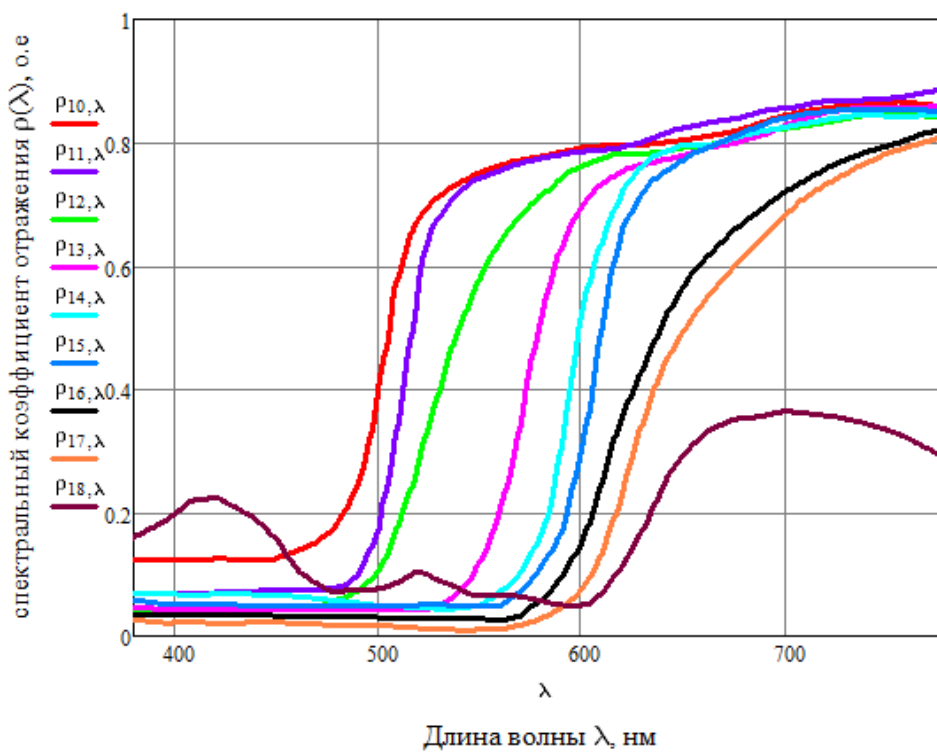
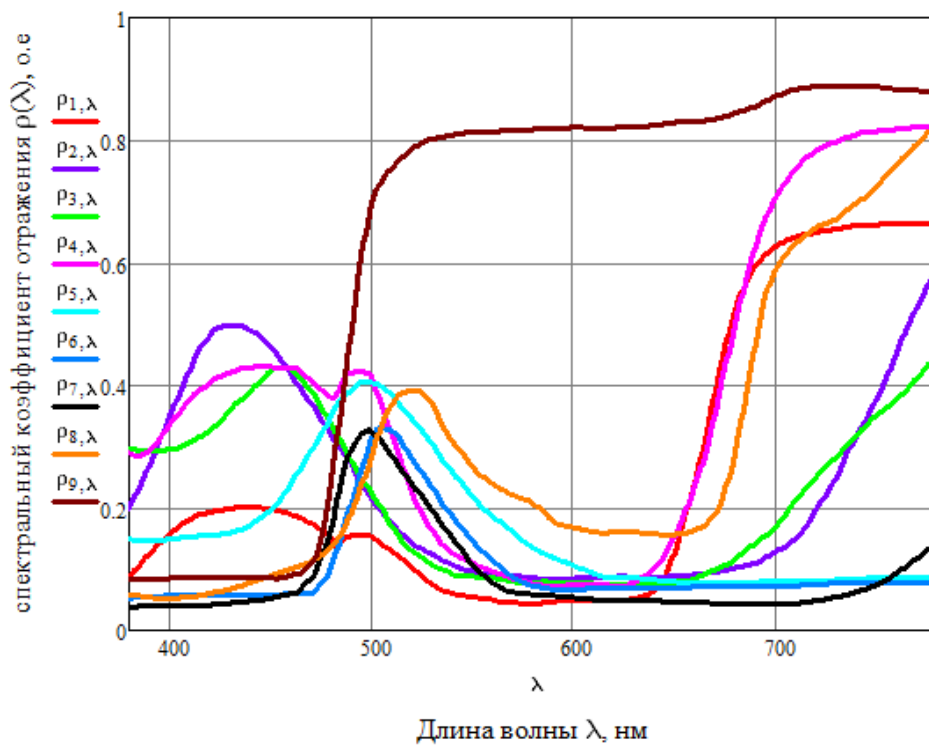


Рисунок 54 – Спектральные коэффициенты отражения 18ти образцов МЭИ



Рисунок 55 – Фотография экспериментальной установки

Наблюдатель садился перед установкой так, чтобы в его поле зрения оказывался только равномерно освещенный ящик, обклеенный белой бумагой. С помощью системы управления подавался сигнал с рассчитанными предварительно величинами интенсивности каждого канала цветного СД, таким образом задавались разные спектральные составы излучения с разной Тцв, по координатам цветности соответствующие эталонным источникам белого цвета. Ниже приведены используемые спектры источников:

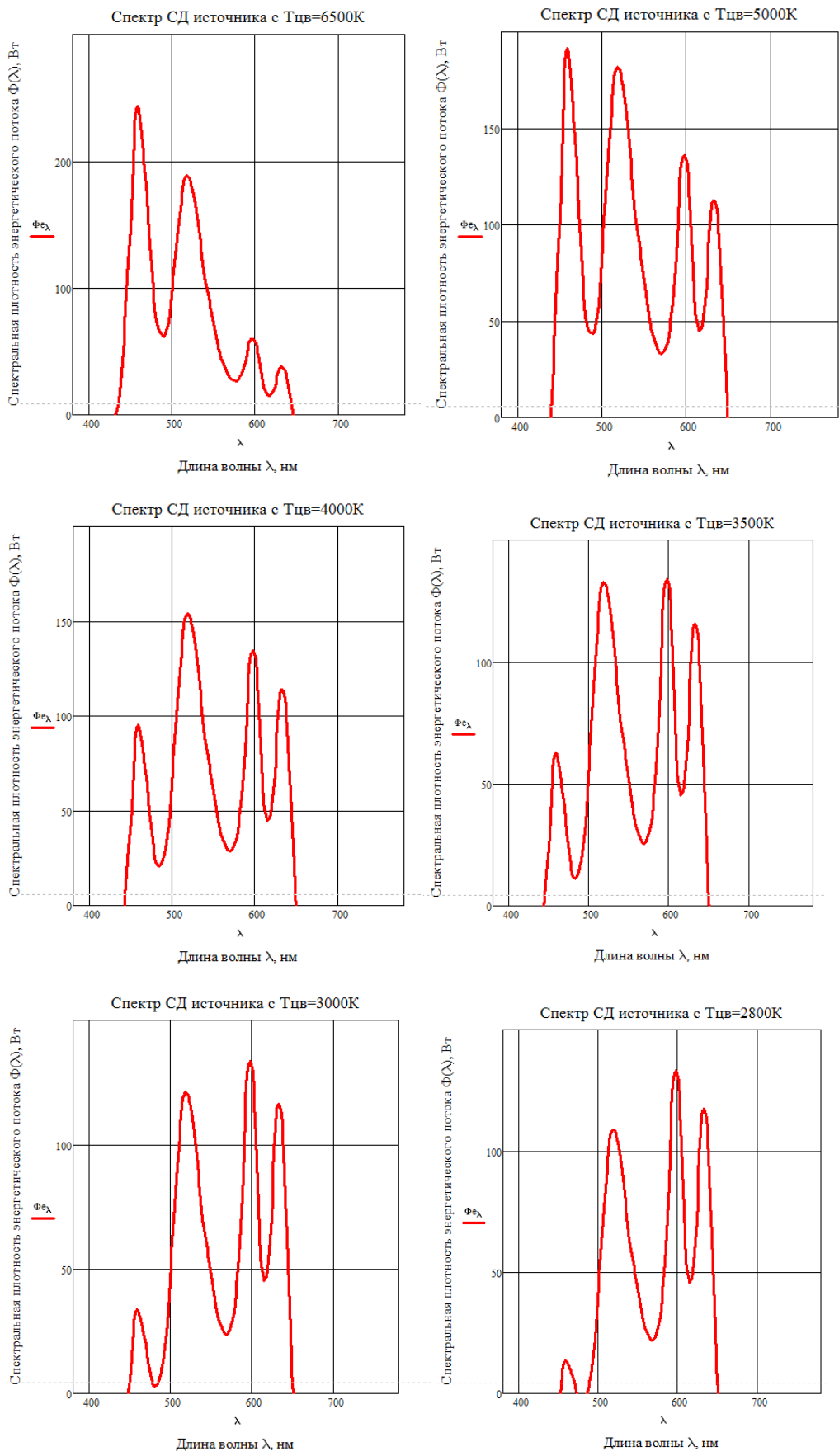


Рисунок 55 – Спектральные потоки излучения источников при разных $T_{цв}$

После подачи сигнала было отведено некоторое время для адаптации на белый фон, затем наблюдателю предлагалось выбрать, какие из образцов кажутся ему при данном освещении наиболее привлекательными, яркими, сочными, насыщенными и выделяются на фоне других образцов. После этого наблюдатель должен был дать оценку того, как выглядит цвет каждого образца по порядку по следующей психофизической шкале:

- Очень хорошо (5)
- Хорошо (4)
- Средне (3)
- Плохо (2)
- Очень плохо (1)

4.3 Результаты эксперимента

Ниже приведена таблица с результатом опроса 7ми наблюдателей:

Таблица 11 – Результаты оценки образцов 7ю наблюдателями

	1 наблюдатель					
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
1	4	3	1	3	3	1
2	4	4	2	4	5	2
3	5	5	2	4	5	2
4	5	5	2	5	5	2
5	5	5	2	5	5	3
6	4	5	2	5	3	2
7	5	5	2	5	3	2
8	5	4	3	4	3	3
9	4	3	5	5	2	4
10	3	2	4	4	1	4
11	3	3	4	4	1	4
12	3	3	4	4	1	4
13	4	3	5	5	1	5
14	2	2	5	5	1	5
15	4	3	4	4	2	5
16	4	3	4	4	2	5
17	4	3	3	4	3	4
18	4	1	1	4	4	2
	2 наблюдатель					
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
1	5	4	3	4	4	3
2	5	5	4	5	5	4
3	5	5	4	5	5	4
4	4	5	3	4	4	4
5	5	5	3	4	5	4
6	5	5	4	5	4	3
7	4	5	5	5	5	4
8	4	4	4	4	4	4
9	4	4	5	5	5	5
10	3	4	4	4	4	4
11	4	3	4	3	4	4
12	5	4	4	3	3	4
13	5	5	5	5	5	5
14	5	5	5	5	5	5
15	5	5	5	5	4	4
16	4	4	5	4	4	4
17	3	3	3	3	3	4
18	2	2	1	2	1	2
	3 наблюдатель					
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
1	2	2	2	2	4	2
2	5	4	3	4	5	4
3	5	5	3	5	5	4
4	3	5	3	5	5	3
5	5	4	4	5	5	4
6	5	5	5	4	4	5
7	4	5	5	4	5	4
8	3	2	2	3	2	2
9	5	5	5	2	2	4
10	2	2	2	3	3	3
11	3	2	2	3	2	3
12	3	2	2	3	2	3

	3 наблюдатель					
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
13	5	4	4	5	5	5
14	5	5	5	5	5	5
15	5	5	5	5	5	5
16	4	4	3	4	5	5
17	4	4	3	3	3	4
18	1	2	3	1	2	4
	4 наблюдатель					
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
1	3	3	3	5	5	5
2	4	5	3	3	4	3
3	5	3	3	3	3	3
4	5	5	3	4	5	3
5	5	5	4	5	3	5
6	4	5	4	5	4	5
7	5	5	3	5	4	5
8	3	4	3	4	3	5
9	4	5	5	5	5	5
10	4	4	4	3	3	4
11	4	5	3	4	4	5
12	3	5	3	3	5	3
13	5	4	5	5	5	4
14	5	4	3	5	5	4
15	4	5	5	5	5	5
16	4	5	4	3	5	4
17	4	3	3	5	5	5
18	4	3	5	5	4	5
	5 наблюдатель					
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
1	2	3	1	4	4	3
2	2	4	2	3	4	4
3	5	4	2	3	4	4
4	4	5	3	4	5	4
5	5	5	4	5	5	4
6	4	4	3	4	4	3
7	3	4	4	3	4	3
8	3	3	5	3	3	3
9	5	5	5	5	4	5
10	3	4	4	4	4	3
11	2	3	4	4	4	4
12	2	3	4	4	4	4
13	5	5	5	5	5	5
14	4	4	4	4	4	5
15	4	4	5	3	4	4
16	3	3	4	4	4	3
17	2	3	3	4	3	4
18	2	2	3	3	2	3
	6 наблюдатель					
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
1	2	3	1	4	3	2
2	5	4	2	5	5	2
3	4	5	2	5	5	2
4	3	4	2	4	5	3
5	3	4	3	4	5	4
6	4	3	3	5	4	3
7	3	5	3	5	4	4
8	2	2	5	3	3	5
9	1	5	5	4	3	4
10	2	3	4	4	2	4
11	4	2	4	4	2	3
12	5	3	5	4	3	3
13	1	1	4	3	4	5

	6 наблюдатель					
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
14	5	1	3	3	4	5
15	3	2	3	3	3	4
16	2	3	3	2	2	3
17	1	3	4	3	2	4
18	1	1	1	3	1	2
	7 наблюдатель					
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
1	3	4	3	4	4	3
2	4	4	3	4	4	3
3	5	5	3	5	5	3
4	4	4	3	5	4	3
5	5	4	3	4	4	3
6	4	5	3	4	4	3
7	4	4	3	4	4	3
8	4	4	3	4	4	3
9	4	4	5	4	5	4
10	4	3	4	4	2	4
11	4	3	4	4	2	4
12	3	3	4	4	2	5
13	4	4	5	5	4	5
14	3	4	4	4	3	4
15	4	4	4	4	3	4
16	4	4	4	4	3	4
17	4	4	4	4	3	4
18	3	3	1	1	2	1

Далее все результаты были обработаны следующим образом: была рассчитана плотность оценок (5, 4 были выделены в отдельные группы, а негативные оценки от 1 до 3 были обобщены) в общем количестве оценок наблюдателей. Сделать именно такое разделение оценок было решено в результате разговора с наблюдателями, которые отметили, что психологически некоторым тяжело бывает дать оценку ниже 3ки, и именно эта оценка обычно свидетельствует о том, что наблюдателю не нравится то, что он видит. Оценка 5 однозначно определяет в восприятии наблюдателей тот образец, цвет которого на их взгляд действительно выглядит очень хорошо. Оценку 4 наблюдатели дают в основном тем образцам, цвет которых кажется им приемлемым и переданным достаточно точно, но при этом не выделяется на общем фоне, не впечатляет и не кажется каким-то особенным. В ходе проведения эксперимента были обнаружены следующие недостатки методики:

- 1) Наблюдатели имели собственные предпочтения насчет «красивых» цветов. Кому-то больше нравятся цвета из голубо-зеленой части цветовой палитры, кому-то – из красно-оранжевой. При попытке

предварительно определить «красивый» цвет наблюдатели делали это с учетом особенностей своего психологического восприятия цветов.

- 2) Некоторым испытуемым было сложно поставить оценку ниже «3». Это могло быть связано как с психологическим восприятием и подсознательно наблюдатель пытался не оценить цвет слишком плохо, так и с тем, что выбранный диапазон изменения Тцв осветителя не достаточно широк для того, чтобы давать действительно плохие результаты.
- 3) Практически всем наблюдателям мешало светотехническое образование – при изменении цветности излучения они пытались проанализировать его спектральный состав и оценить образцы исходя из того, как в действительности по расчету они передавались бы при освещении излучением с такой цветовой температурой.
- 4) Цветность излучения наблюдателям было достаточно легко определить благодаря неселективно отражающей белой бумаге, которой был обклеен экспериментальный ящик.

В результате эксперимента были получены таблицы и построены диаграммы:

Таблица 12 – Обобщенные экспериментальные данные для среднего наблюдателя

Средний наблюдатель для оценки «5»					
4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
0.14	0.00	0.00	0.14	0.14	0.14
0.43	0.29	0.00	0.29	0.57	0.00
0.71	0.71	0.00	0.57	0.71	0.00
0.29	0.71	0.00	0.43	0.71	0.00
0.86	0.57	0.00	0.57	0.71	0.14
0.29	0.71	0.14	0.57	0.00	0.29
0.29	0.71	0.29	0.57	0.29	0.14
0.14	0.00	0.29	0.00	0.00	0.29
0.29	0.57	1.00	0.57	0.43	0.43
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.14
0.29	0.14	0.14	0.00	0.14	0.14
0.57	0.29	0.71	0.86	0.57	0.86
0.57	0.29	0.43	0.57	0.43	0.71
0.29	0.43	0.57	0.43	0.29	0.43
0.00	0.14	0.14	0.00	0.29	0.29

Средний наблюдатель для оценки «4»					
4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
0.14	0.29	0.00	0.57	0.57	0.00
0.43	0.71	0.14	0.43	0.43	0.43
0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.43
0.43	0.29	0.00	0.57	0.29	0.29
0.00	0.43	0.43	0.43	0.14	0.57
0.71	0.14	0.29	0.43	0.86	0.00
0.43	0.29	0.14	0.29	0.57	0.43
0.29	0.57	0.14	0.57	0.29	0.14
0.57	0.29	0.00	0.29	0.14	0.57
0.29	0.43	0.86	0.71	0.29	0.71
0.57	0.00	0.71	0.71	0.43	0.57
0.00	0.14	0.57	0.57	0.14	0.43
0.29	0.43	0.29	0.00	0.29	0.14
0.14	0.43	0.29	0.29	0.29	0.29
0.57	0.29	0.29	0.29	0.29	0.57
0.71	0.43	0.57	0.71	0.29	0.43
0.57	0.29	0.29	0.43	0.00	0.86
0.29	0.00	0.00	0.14	0.29	0.14
Средний наблюдатель для оценок «1», «2», «3»					
4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
0.72	0.71	1.00	0.29	0.29	0.86
0.14	0.00	0.86	0.28	0.00	0.57
0.15	0.15	0.86	0.29	0.15	0.57
0.28	0.00	1.00	0.00	0.00	0.71
0.14	0.00	0.57	0.00	0.15	0.29
0.00	0.15	0.57	0.00	0.14	0.71
0.28	0.00	0.57	0.14	0.14	0.43
0.57	0.43	0.57	0.43	0.71	0.57
0.14	0.14	0.00	0.14	0.43	0.00
0.71	0.57	0.14	0.29	0.71	0.29
0.43	0.86	0.29	0.29	0.57	0.29
0.71	0.72	0.29	0.43	0.72	0.43
0.14	0.28	0.00	0.14	0.14	0.00
0.29	0.28	0.28	0.14	0.28	0.00
0.14	0.28	0.14	0.28	0.42	0.00
0.29	0.43	0.29	0.29	0.42	0.28
0.43	0.71	0.71	0.43	0.86	0.00
0.71	1.00	0.86	0.72	0.71	0.72

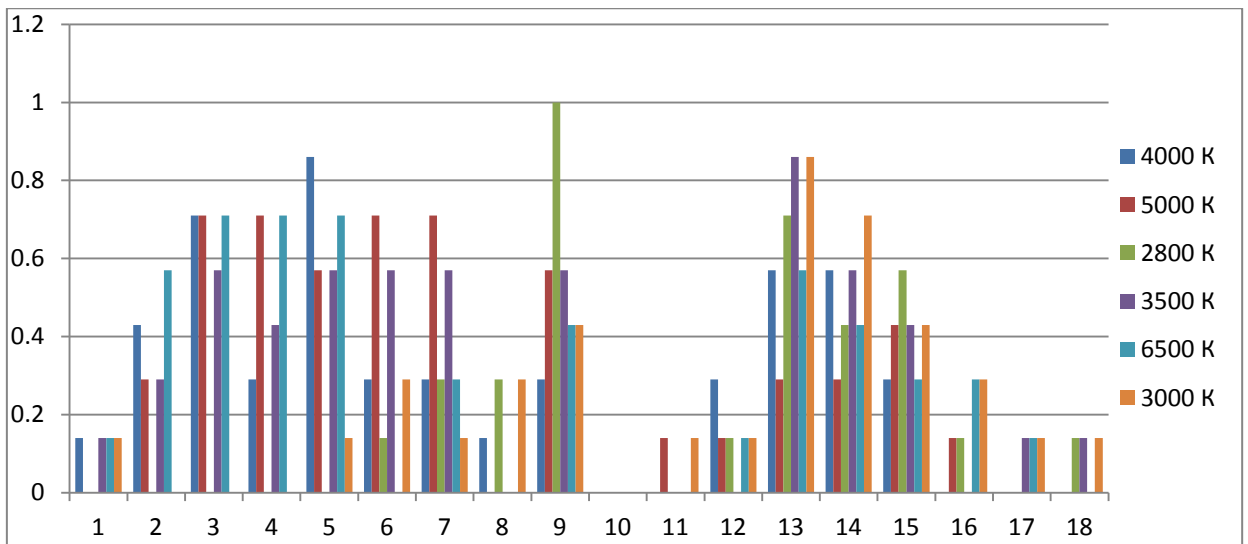


Рисунок 56 – Обобщенные данные для среднего наблюдателя для оценки «5»

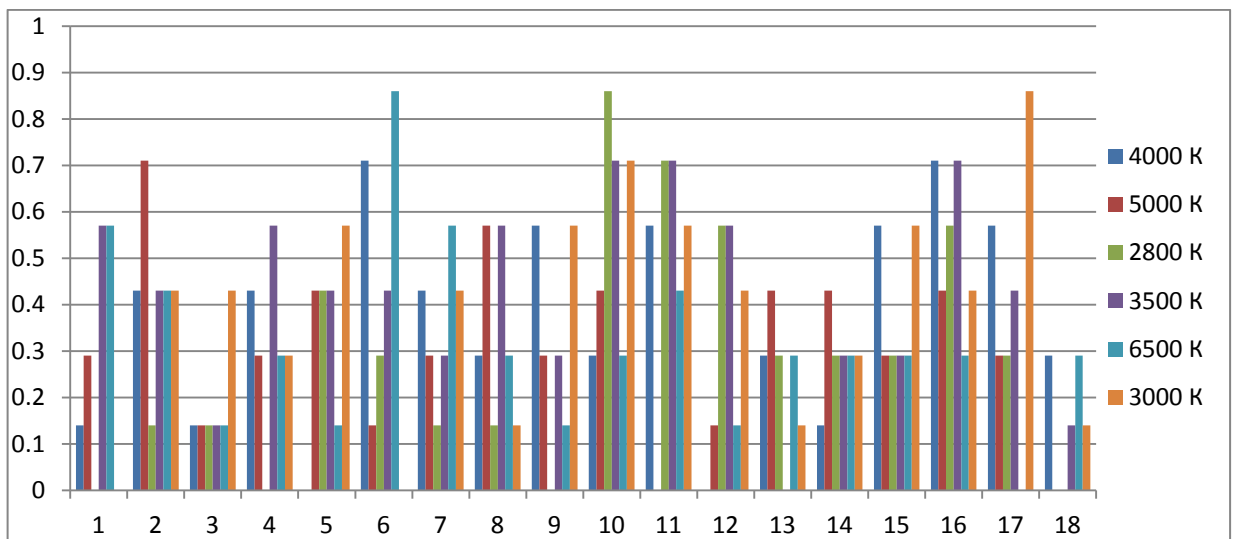


Рисунок 57 – Обобщенные данные для среднего наблюдателя для оценки «4»

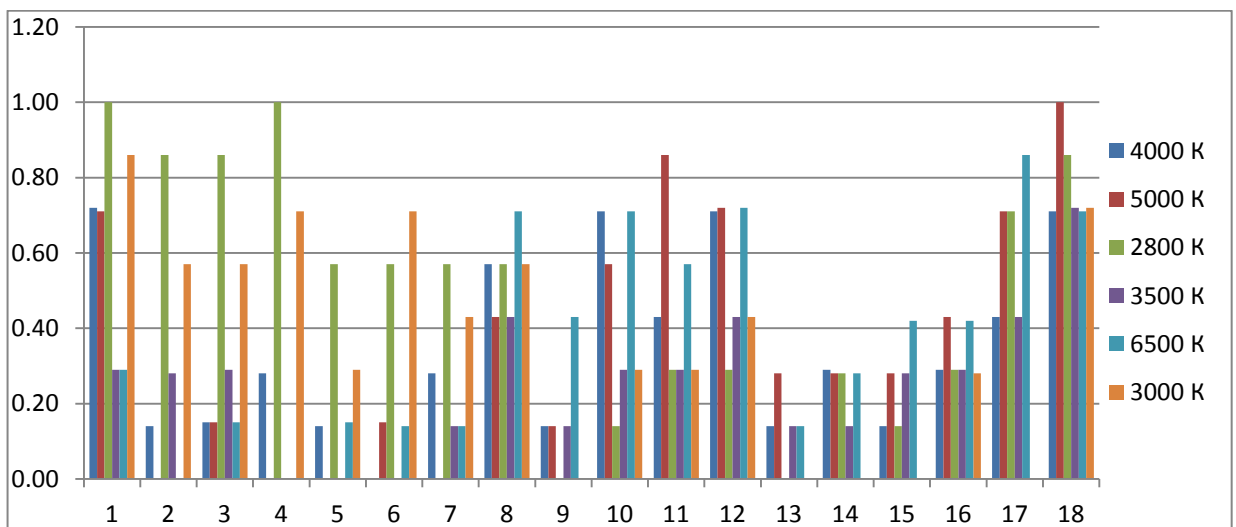


Рисунок 58 – Обобщенные данные для среднего наблюдателя для оценки «3», «2», «1»

Из диаграмм видно, что некоторые из образцов при освещении тем или иным источником были оценены наблюдателями на «4» и «5», а некоторые были оценены преимущественно негативно. Ниже приведена сводная таблица с результатами оценок, где преимущественно отличную оценку получает образец, оцененный на «5» с плотностью больше 50% (аналогично и для преимущественно негативной оценки):

Таблица 13 – Итоговые результаты эксперимента

Преимущественно отличная оценка (5)						
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
1						
2					V	
3	V	V			V	
4		V			V	
5	V	V		V	V	
6		V		V		
7		V		V		
8						
9		V	V	V		
10						
11						
12						
13	V		V	V	V	V
14	V			V		V
15			V			
16						
17						
18						
Преимущественно негативная оценка (1.2.3)						
	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
1	V	V	V			V
2			V			V
3			V			V
4			V			V
5			V			
6			V			V
7			V			
8	V		V		V	V
9						
10	V	V			V	
11		V				
12	V	V			V	
13						
14						
15						
16						
17		V	V		V	
18	V	V	V	V	V	V

В таблице с преимущественно отличными оценками были зеленым отмечены цвета, оцененные на отлично с плотностью 71%. оранжевым – с плотностью 86%, а красным – однозначно оцененный на отлично образец.

Некоторые образцы получили только негативные отзывы. Образец под номером 18 по мнению наблюдателей выглядел плохо при любой Т_{цв} осветителя. Если посмотреть на спектральный коэффициент отражения этого образца, видно, что кривая идет ниже остальных, а значит, образец отражает меньше излучения, чем все другие. Очевидно, наблюдателям не хватило яркости образца, чтобы оценить привлекательность его цвета.

Образец под номером 9 единственный получил однозначно отличную оценку при освещении его источником с Т_{цв}=2800 К, что так же легко объясняется с точки зрения спектрального состава отраженного от него излучения – у этого образца самый крутой фронт спектрального коэффициента отражения, поэтому при освещении его каждым из источников, им была отражена максимальная часть спектрального потока их излучения. У источника же с Т_{цв}=2800К наибольшая доля излучения приходится именно на этот диапазон длин волн, и при воздействии на глаз с учетом спектральной характеристики светочувствительных колбочек дает наибольший «кпд».

Больше всего образцов было оценено наблюдателями на «хорошо» и «отлично» при наблюдении их при источниках с Т_{цв}=3500К, Т_{цв}=4000К и Т_{цв}=6500К. При Т_{цв}=3500К только один 18й образец получил негативную оценку большинства наблюдателей, что показывает, что именно эта цветовая температура белого света является рекомендуемой и оптимальной для освещения объектов с любой цветностью. Стоит заметить, что именно эта цветовая температура (3200К) является стандартной температурой излучения светодиодов при взгляде на ассортимент светотехнического СД оборудования.

При $T_{цв}=6500K$ и $T_{цв}=4000K$ положительные отзывы получили образцы, спектральные коэффициенты отражения находятся в сине-зеленой части спектра, а красные и оранжевые были оценены негативно. Цветовая температура в $2800K$ является наиболее неблагоприятной, искажая цвет практически всех образцов, кроме 9го, как было показано ранее, что так же легко объяснимо тем, что в той части спектра, в которой отражают исследуемые образцы, излучения источника не достаточно и при воздействии на глаз цвет образца сильно искажается.

Однако, все эти наблюдения скорее говорят об индексе цветопередачи источника, нежели о субъективном восприятии наблюдателями степени приукрашивания цвета объекта.

Для того, чтобы проанализировать психофизические особенности восприятия цвета, были проведены расчеты.

5 Расчетная часть

После проведения визуальных экспериментов с наблюдателями, в ходе которых были обобщены их предпочтения к освещению образцов различного цвета белым светом с той или иной цветовой температурой, стало необходимым проверить, существуют ли расчетные способы определения предпочтений наблюдателей.

Были рассчитаны координаты цветности в системе XYZ освещенных белым светом 18ти образцов.

Таблица 14 – Координаты цветности в системе XYZ для всех источников и образцов

	Т _{цв} =6500 К		Т _{цв} =5000 К		Т _{цв} =4000К		Т _{цв} =3500 К		Т _{цв} =3000 К		Т _{цв} =2800 К	
	Система XYZ		Система XYZ		Система XYZ		Система XYZ		Система XYZ		Система XYZ	
	x	y	x	y	x	y	x	Y	x	y	x	y
1	0.1457	0.2136	0.1907	0.2802	0.2327	0.4124	0.2774	0.5094	0.3527	0.7069	0.2774	0.5094
2	0.1593	0.1721	0.2018	0.2355	0.255	0.3692	0.3131	0.4849	0.4395	0.767	0.3131	0.4849
3	0.1563	0.1666	0.195	0.2214	0.241	0.3363	0.2887	0.4286	0.3842	0.6386	0.2887	0.4286
4	0.1436	0.2125	0.1754	0.2737	0.2066	0.4047	0.2411	0.5049	0.3031	0.721	0.2411	0.5049
5	0.1645	0.3633	0.212	0.4151	0.2448	0.5069	0.2714	0.5511	0.3015	0.619	0.2714	0.5511
6	0.1662	0.5253	0.2228	0.5493	0.2477	0.5998	0.2687	0.6167	0.2867	0.6426	0.2687	0.6167
7	0.1536	0.4865	0.2032	0.518	0.2276	0.5782	0.2482	0.6011	0.267	0.6352	0.2482	0.6011
8	0.201	0.5107	0.2776	0.5225	0.3093	0.5631	0.3337	0.5729	0.3543	0.5907	0.3337	0.5729
9	0.2737	0.5635	0.3816	0.5232	0.4104	0.5274	0.4326	0.5208	0.448	0.5198	0.4326	0.5208
10	0.2815	0.5294	0.3913	0.5022	0.4235	0.5141	0.4467	0.5106	0.4637	0.5128	0.4467	0.5106
11	0.3131	0.5613	0.4212	0.5117	0.4474	0.5128	0.4672	0.5049	0.4806	0.5028	0.4672	0.5049
12	0.3594	0.5345	0.4684	0.4803	0.4922	0.4787	0.5094	0.471	0.5208	0.4682	0.5094	0.471
13	0.4596	0.399	0.5624	0.3879	0.5847	0.3939	0.5966	0.393	0.6053	0.3942	0.5966	0.393
14	0.4072	0.3297	0.5537	0.3522	0.5918	0.3692	0.6102	0.3726	0.6251	0.3778	0.6102	0.3726
15	0.3818	0.3441	0.5462	0.3544	0.5867	0.37	0.6072	0.372	0.6234	0.3765	0.6072	0.372
16	0.3519	0.3299	0.5363	0.3481	0.5828	0.3673	0.6064	0.3704	0.6252	0.3762	0.6064	0.3704
17	0.344	0.2948	0.5564	0.3263	0.6049	0.3462	0.6283	0.3502	0.647	0.3562	0.6283	0.3502
18	0.1821	0.2758	0.2906	0.3563	0.3722	0.477	0.439	0.544	0.523	0.6492	0.439	0.544

Однако не стоит забывать, что колориметрическая система XYZ, хотя и дает возможность идентифицировать цвет посредством координат цветности, что в свою очередь позволяет его воспроизвести, но оценить визуальное различие между двумя цветами в количественной мере эта система не позволяет, так как расстояние между любыми точками на цветовом графике или в цветовом пространстве не соответствуют субъективно воспринимаемым различиям между этими цветами. Для этого существуют различные равноконтрастные системы.

Сейчас для цветовых расчетов и расчетов индекса цветопередачи чаще всего используются равноконтрастные системы Luv и Lab. Однако, обе они имеют ряд существенных недостатков. Ниже описаны основные принципы построения универсальной колориметрической системы [17]:

- никакое линейное преобразование колориметрического пространства или в частном случае графика не может дать равноконтрастной системы, т.к. цветовое ощущение является многопараметрической нелинейной функцией цветовых стимулов;

- попытки построения единого универсального графика. пригодного для оценки цветовых различий для любых уровней яркости и любых адаптационных условий не дают положительных результатов и находятся в противоречии с экспериментальными данными;

- подавляющее большинство равноконтрастных систем и диаграмм построено не на основе преобразования физиологической системы. а на произвольно выбранных колориметрических системах, кривые сложения которых значительно отличаются от кривых чувствительности цветовоспринимающих рецепторов глаза;

- цветовое ощущение в общем случае зависит от спектрального состава наблюдаемого объекта, времени и условий наблюдения и в первую очередь от цвета поля окружения, оказывающего индуктивное и адаптационное воздействие на цветоощущение, что не учитывается в рассмотренных системах

- нормирование по оси светлот в плоскости равной яркости проводится разными методами с использованием экспериментов, проведенных методом пороговых приращений, равных интервалов или количественной оценки

Существующие ныне равноконтрастные системы имеют ряд недостатков:

- система LUV не отражает психофизиологические особенности зрения;
- система LAB не позволяет учесть индуктивное влияние поля окружения и не дает однозначной связи светлоты цветных объектов с яркостью для любой цветности;

Главным достоинством равноконтрастной системы V_k, V_z, V_c является учет адаптационного и индукционного влияния цветности окружающего фона при одновременном восприятии цвета объекта наблюдения и соответствие между цветовым ощущением и его численным значением в порогах цветоразличения.

В работе были проведены расчеты координат цветности в системах Lab и Luv (Приложение 4), однако полученные результаты не могут дать никакой информации о том, почему наблюдатель может высоко оценить цвет не по уровню цветопередачи, а по своему предпочтению. Невозможность судить о предпочтениях наблюдателя связана с тем, что в них не учитываются цветовые эффекты (Бецольда-Брюкке, Гельмгольца-Кольрауша и Бецольда-Эбнея). Поэтому все дальнейшие расчеты проводились именно в равноконтрастной системе V_k, V_z, V_c .

Для подтверждения экспериментов на практике и подтверждения влияния насыщенности цвета объекта на оценку наблюдателей, по известным колориметрическим параметрам с учетом соотношения яркостей объекта и фона, насыщенность объекта определяется графическим методом [22]. Для этого используются равноконтрастный цветовой график (РКГ) V_k, V_z, V_c , который является плоскостным изображением сечения равноконтрастного пространства поверхностью равной яркости с отношением яркостей объекта

и фона равным единице, и относительная функция зависимости насыщенности цветов различного цветового тона (n) от $\frac{L_o}{L_\phi}$ (рис.)

Насыщенность цвета по этому методу определяется расстоянием (в порогах) на РКГ от точки, соответствующей цветности образца, заданной координатами цветности (x, y) до точки, соответствующей цветности источника, умноженным на коэффициент n , определенный по графику (рисунок 59)

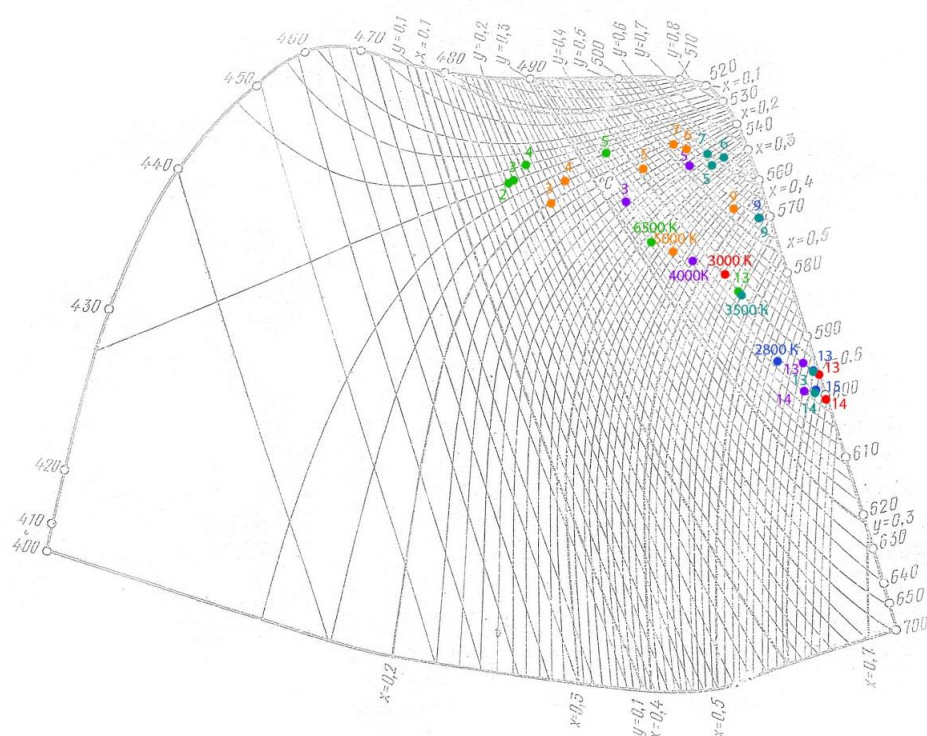


Рисунок 59 – Равноконтрастный цветовой график v_k, v_z, v_c с нанесенными координатами цветности всех источников и образцов, оцененных на «отлично»

Таким образом, были получены значения насыщенности для тех образцов, которые были оценены наблюдателями на отлично.

Таблица 15 – Значения насыщенности образцов, оцененных на «отлично»

	4000 К	5000 К	2800 К	3500 К	6500 К	3000 К
	Число порогов	Число порогов	Число порогов	Число порогов	Число порогов	Число порогов
1						
2					103	
3	60	89			103	
4		86			98	
5	65	60		91	67	
6		70		94		
7		70		98		
8						
9		50	98	53		
10						
11						
12						
13	101		24	70	67	94
14	115			82		108
15			34			
16						
17						
18						

Для сравнения была посчитана насыщенность для образцов, оцененных наблюдателями преимущественно негативно.

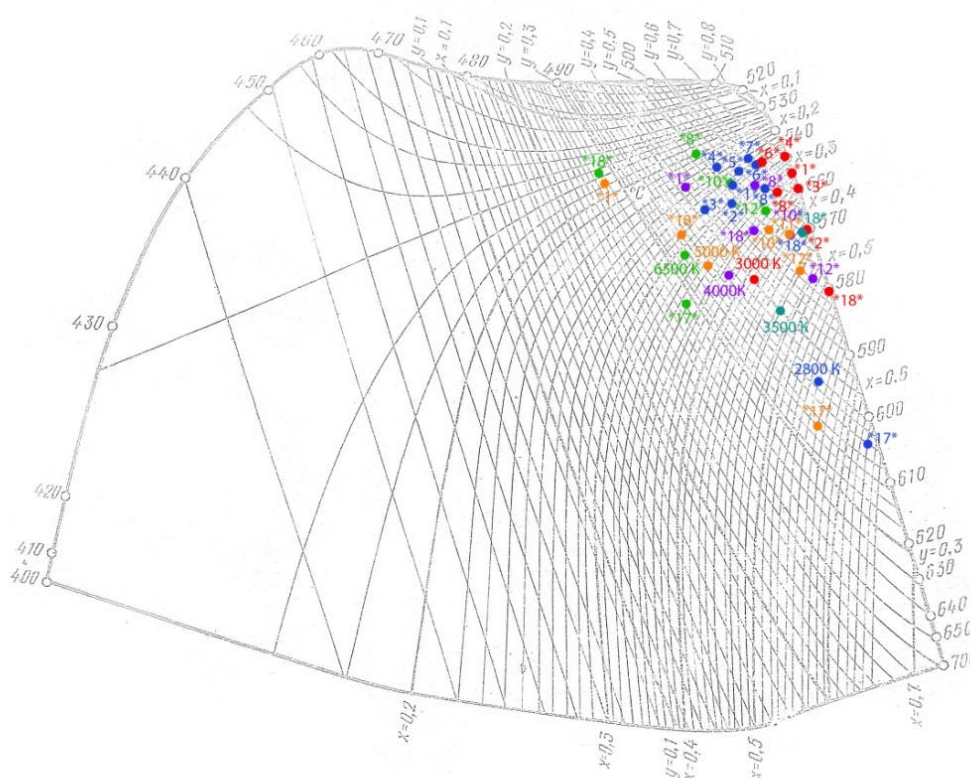


Рисунок 60 – Равноконтрастный цветовой график v_k, v_z, v_c с нанесенными координатами цветности всех источников и образцов, оцененных на «3», «2»,

«1»

Таблица 16 – Сводная таблица со значениями насыщенности

	4000 К		5000 К		2800 К		3500 К		6500 К		3000 К	
	Число порогов	Группа по насыщенности	Число порогов	Группа по насыщенности	Число порогов	Группа по насыщенности	Число порогов	Группа по насыщенности	Число порогов	Группа по насыщенности	Число порогов	Группа по насыщенности
1	62	С3	84	Б2	137	Б3					72	Б1
2					127	Б3			103	Б3	46	
3	60	С3	89	Б3	132	Б3			103	Б3	65	Б1
4			86	Б2	151	Б3			98	Б3	82	Б2
5	65	Б1	60		144	Б3	97	Б3	67	Б1		
6			70	Б1	144	Б3	94	Б3			74	Б1
7			70	Б1	149	Б3	98	Б3				
8	60	С3			127	Б3			65	Б1	58	С3
9			50	С2	98	Б3	53	С2				
10	34	С1	46	С2					55	С3		
11			55	С3								
12	53	С2	60	С3					60	С3		
13	101	Б3			24	М3	70	Б1	67	Б1	94	Б3
14	115	Б3					82	Б2			108	Б3
15					34	С1						
16												
17			125	Б3	50	С2			33	С1		
18	34	С1	26	М3	96	Б3	53	С3	77	Б2	48	С2

Была построена диаграмма, на которой отмечен диапазон уровней насыщенности, по результатам проведенного эксперимента оказавшихся предпочтительными.

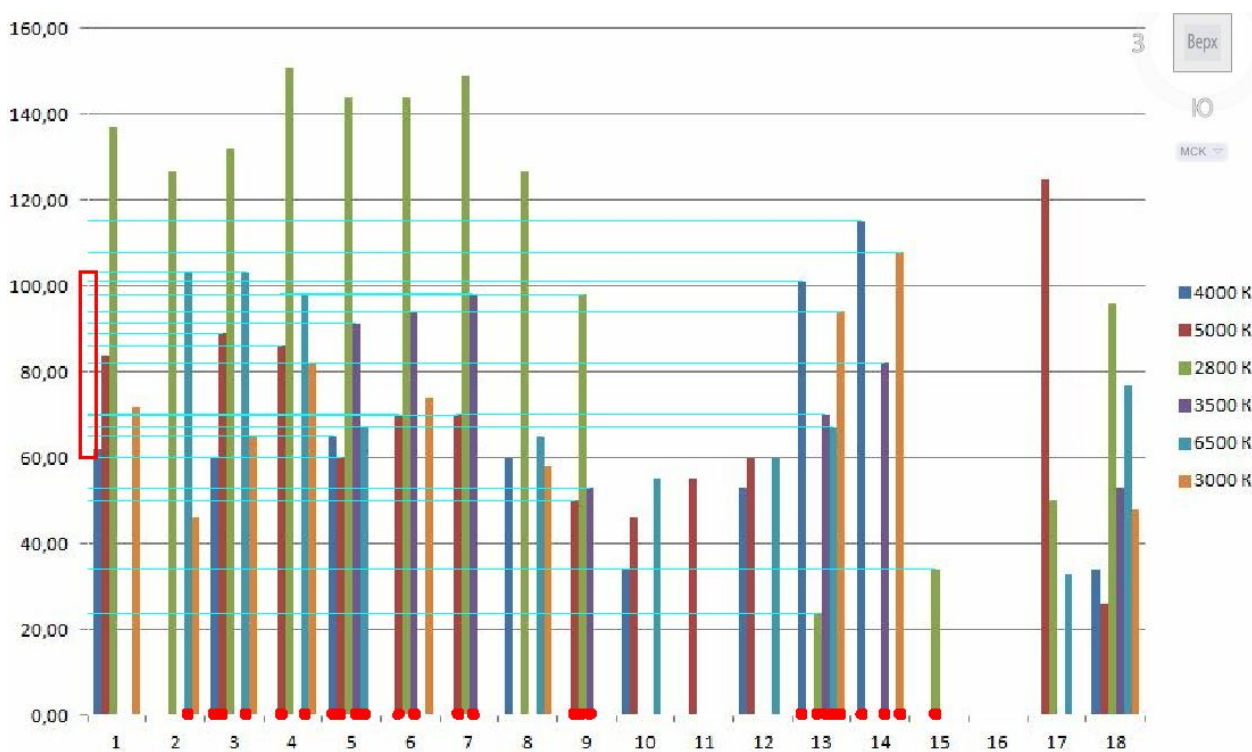


Рисунок 61 – Диаграмма насыщенности с выявленным благоприятным диапазоном для оцененных на отлично образцов

По результатам проведенных исследований был сделан ряд выводов, которые могут быть использованы в случае, когда требуется приукрасить тот или иной цвет за счет освещения объекта источниками света с различным спектральным составом излучения.

Основной вывод заключается в том, что образцы с величиной насыщенности, попадающей в диапазон от 60 до 105 были признаны большинством наблюдателей красивыми. При этом, преимущественно негативные отзывы получили образцы со слишком высокой величиной насыщенности, что характерно в основном для СД осветителя с $T_{цв}=2800K$, именно при этой цветовой температуре насыщенность практически всех образцов была оценена наблюдателями оценками ниже 4.

Образцы, которые при освещении различными источниками имели недостаточную насыщенность, так же были невысоко оценены наблюдателями, что подтверждается при СД осветителе с $T_{цв}=4000K$.

Использованная для экспериментов с наблюдателями светотехническая установка является примером универсального осветительного прибора, в котором с помощью управления каналами СД можно регулировать спектральный состав излучения, получив расчетным путем пропорции смешения излучения 4х каналов для любой цветности итогового излучения. Использование такого прибора дает дополнительные возможности при проектировании медиапотолка в торговом центре, потому что, как было показано в ходе эксперимента, целых 3 источника из 6 с различными цветовыми температурами (3000 К, 4000К, 6500К) давали достаточно неплохие результаты с точки зрения привлекательности цвета образцов. В первой основной концепции медиапотолка упор делался на имитацию излучения дневного неба, цветность которого меняется в зависимости от времени суток на улице. С помощью установки, аналогичной экспериментальной, осуществить эту концепцию не составит труда, к тому

же изменение цветности света не понесет за собой негативных последствий на восприятие наблюдателями цвета объектов.

Для второго, более простого и экономичного проектного решения медиапотолка, проведем аналогичные расчеты насыщенности для нескольких образцов, освещенных 3мя типами светодиодов с отсутствием возможности изменения спектральной плотности потока излучения – Cree с $T_{цв}=2800-3500$ К, Cree с $T_{цв}=3500К-5000К$ и Xicato с $T_{цв}=3000К$.

Были выбраны 5 наиболее насыщенных образцов МЭИ по одному из каждой части спектра: 3й, 7й, 10й, 13й, 14й. Дальнейшие исследования проводились для них.



Рисунок 62 – Выбранные для дальнейших исследований образцы

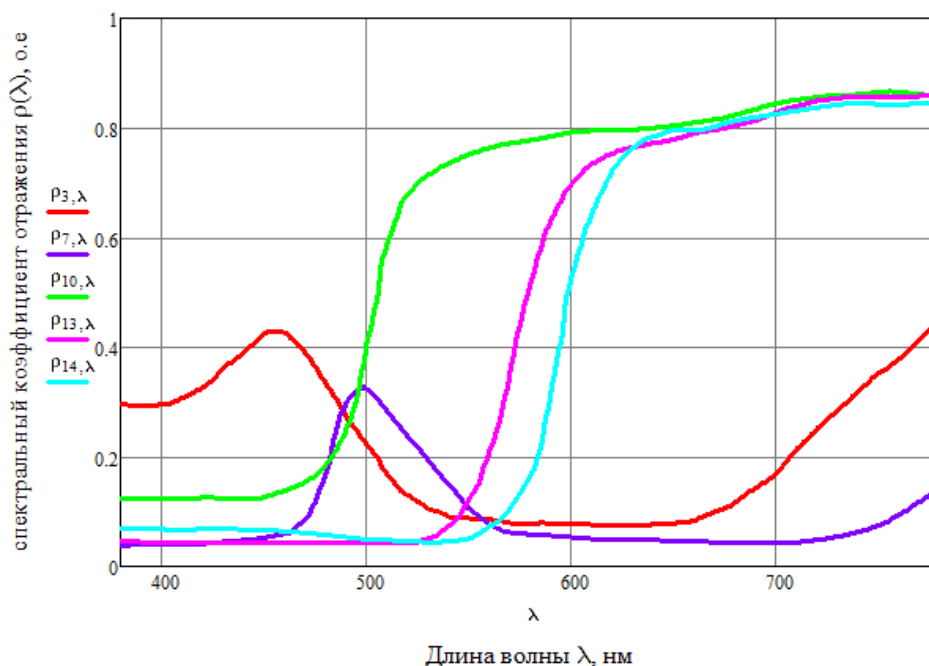
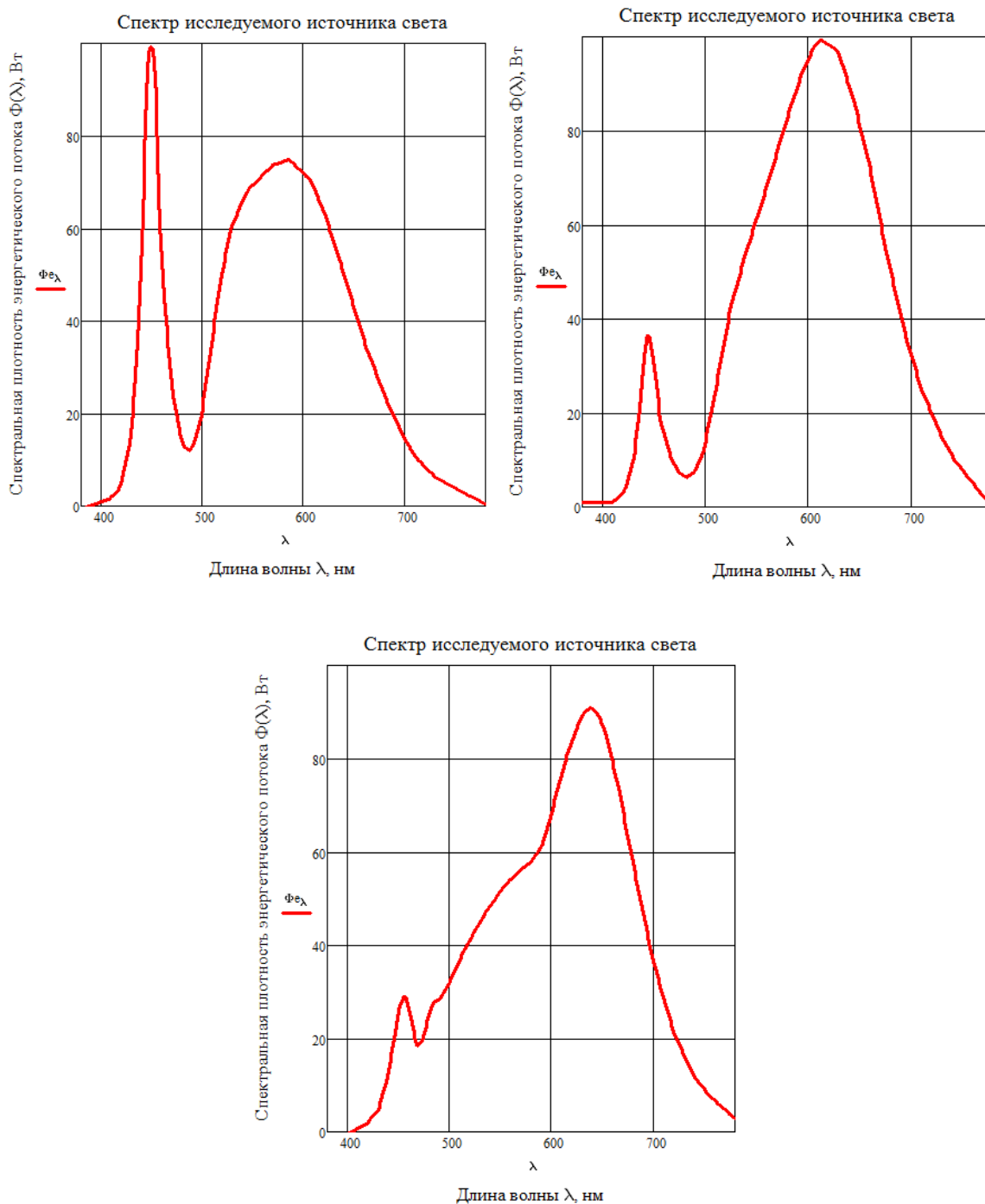


Рисунок 63 – Спектральные коэффициенты отражения выбранных 5 образцов



а) Cree 2600K-3500K, б) Cree 3500K-5000K, в) Xicato

Рисунок 64 – Спектральная плотность потока излучения выбранных для исследований СД источников

Аналогично были рассчитаны значения насыщенности для выбранных образцов, освещенных исследуемыми источниками.

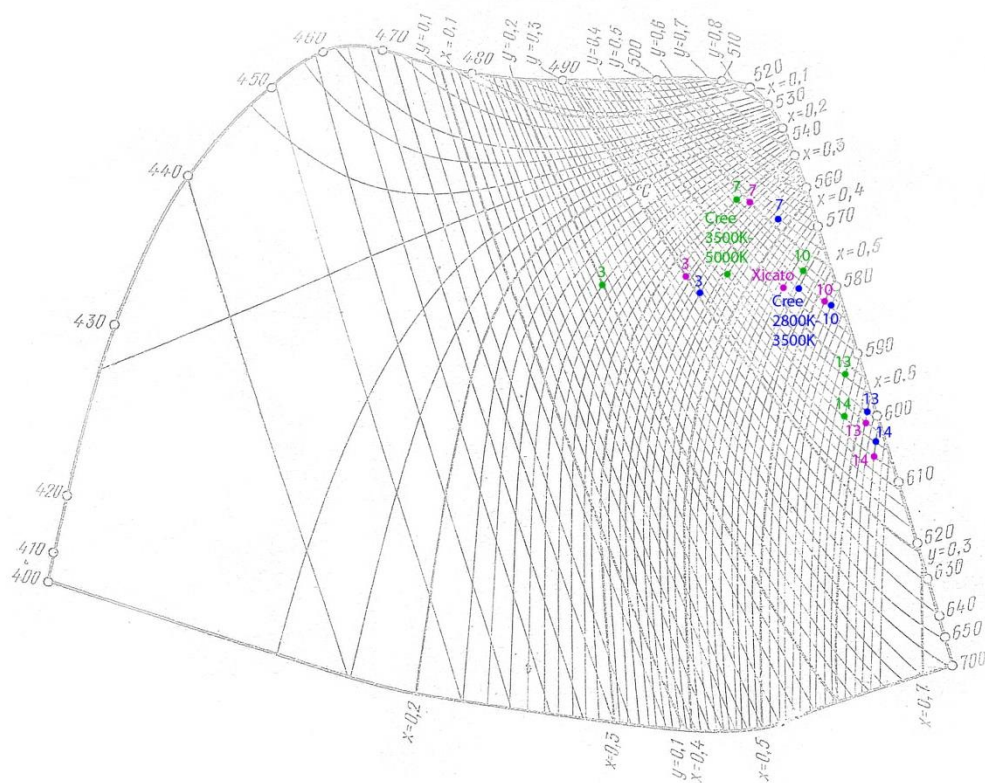


Рисунок 65 – Равноконтрастный цветовой график v_k, v_z, v_c с нанесенными координатами цветности 3х исследуемых источников и 5 выбранных образцов

Таблица 17 – Полученные значения насыщенности

	Cree 2800-3500 K		Cree 3500-5000 K		Xicato	
	Число порогов	Значение насыщенности	Число порогов	Значение насыщенности	Число порогов	Значение насыщенности
3	2,6	62,4	3,3	79,2	2,6	62,4
7	1,9	45,6	2	48	2,4	57,6
10	1	24	2	48	1,14	27,36
13	3,7	88,8	4,1	98,4	4,1	98,4
14	4,5	108	4,9	117,6	4,9	117,6

Образец номер 7 ранее оценивался наблюдателями, как красивый в случае попадания значений его насыщенности в указанный диапазон, однако при выбранных СД источниках требуемого уровня насыщенности добиться практически не удалось, наиболее близким получилось значение при освещении его светодиодами производителя Xicato.

По результатам проведенного ранее эксперимента было установлено, что образец под номером 10 оценивается наблюдателями преимущественно негативно вне зависимости от того, при каком источнике освещения наблюдается. Значения насыщенности при всех исследуемых источниках для этого образца так же получились слишком низкими, что свидетельствует о том, что приукрасить его не удастся ни в одном из случаев.

Для образца под номером 14 было выявлено, что превышение уровня насыщенности установленного диапазона благоприятно влияет на оценку наблюдателей, поэтому при всех источниках он будет восприниматься красивым, несмотря на завышенные расчетные значения насыщенности.

Остальные образцы (3, 13), как было показано ранее, требуют насыщенности, попадающей в диапазон от 60 до 100, что достижимо при наблюдении их под всеми рассматриваемыми источниками.

Таким образом, было показано, что при выборе СД источника производителя Xicato можно добиться приукрашивания наибольшего числа образцов (4 из 5), что является очень хорошим результатом, а следовательно, именно этого производителя имеет смысл рекомендовать для освещения ТЦ, где очень важным является приукрашивание цвета объектов для усиления восприятия посетителями продукции и интерьера.

Важным является и тот вывод, что если по насыщенности образцов выбирать спектральный состав излучения для освещения цветных объектов, то вовсе не обязательно руководствоваться высоким индексом передачи, потому что можно подобрать тот источник, который даже при индексе цветопередачи 60-70 будет подчеркивать красоту цветов в определенном спектральном диапазоне.

Заключение

В ходе данной работы при оценке наблюдателями привлекательности цвета объектов за основу был взят психологический критерий восприятия цвета. Способность светодиодов усиливать цвет объекта является важной их особенностью. Как показал эксперимент, с помощью установки с возможностью управления спектральной плотностью потока светового прибора можно создать осветительную установку, в которой будет изменяться цветность излучения, но при этом объекты различных цветов будут оцениваться наблюдателями, как привлекательные, вне зависимости от индекса цветопередачи источника света.

По результатам проведенных экспериментов был выявлен диапазон насыщенностей, при котором цвета воспринимаются наблюдателями, как красивые.

Проведенные исследования помогут с более творческой точки зрения подходить к проектированию освещения в магазинах, торговых центрах и на выставках, где важно эмоциональное воздействие света и цвета на наблюдателя, а так же при выборе акцентного освещения не следовать четким инструкциям по выбору источника с высоким индексом цветопередачи. Это может как уменьшить стоимость осветительной установки, так и создать больший простор для интересных архитектурных решений, а главное – привлечь внимание покупателей с помощью правильного выбранного освещения к тем или иным объектам, что является залогом коммерчески выгодного преподнесения товара.





Список используемых источников

1. Журнал "Практический маркетинг" - №4 2000
2. ГОСТ Р 51773-2009 "Услуги торговли. Классификация предприятий торговли"
3. «Технологии и оборудование для магазинов», №3(112), март 2010 г.
4. Лекции Лебедковой С.М. по Архитектурному освещению за 2013г.
5. Журнал «Управление магазином», №5, 2009
6. Журнал «Управление магазином» № 8/2011
7. Канаян К., Канаян Р., Канаян А. Проектирование магазинов и торговых центров М.: «Юнион-Стандарт Консалтинг», 2008. - 424 с.
8. СП52.13330.2011 «ЕСТЕСТВЕННОЕ И ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ», 2011.-68 с.
9. Журнал Light Design №6/7/2005
10. Журнал Light Design №6/2004
11. Сайт производителя Cree <http://www.cree.com/>
12. Сайт производителя Nichia
http://www.nichia.co.jp/en/about_nichia/index.html
13. Сайт производителя Philips [электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <http://www.lighting.philips.com/main/>, свободный
14. Сайт компании «Точка опоры» [электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <http://www.k-to.ru/>, свободный
15. Сайт производителя Xicato [электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <http://www.xicato.com/>, свободный
16. M. Ronnier Luo, Changjun Li, CIE COLOUR APPEARANCE MODELS AND ASSOCIATED COLOUR SPACES, DOI: 10.1002/9780470175637.ch11, 2007






17. Мешков В.В, Матвеев А.Б., Основы светотехники Ч.2 М.: Энергоатомиздат, 1989.-432 с.
18. Davis, W. L.; Ohno, Y.;. Development of a Color Quality Scale. NIST, 2006.
19. Ньюберг Н.Д., Теоретические основы цветной репродукции, М., «Советская наука», 1947.–176 с.
20. Магистерская диссертация Лебедева И.С., 2012 – 120с.
21. Гуревич М. М., Цвет и его измерение, Издательство академии наук СССР, 1950.–268 с.
22. Рекомендации по проектированию цветовой отделки интерьеров общественных зданий. М., Стройиздат, 1984.



**Спецификация светотехнического оборудования по
проекту**

Таблица П.1.1

№	По проекту	Описание	Фото	Назначение	Производство	Модель	Кол-во	Ед. изм.	Номинальная мощность, Вт	Суммарная мощность, Вт
Общий свет										
1	СП1	Тип: Световые модули, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: LED White Питание: 24В (внешний БП)		Общее освещение	Германия	Feno	42	шт.	45	1890
		Система управления. Димирование: адресное для пикселя					Германия	-		
2	СП2	Тип: Световые модули, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: LED White Питание: 24В (внешний БП)		Общее освещение	Германия	Feno	58	шт.	60	3480
		Система управления. Димирование: адресное для пикселя					Германия	-		
1	СП3	Тип: Световые модули, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: LED White Питание: 24В (внешний БП)		Общее освещение	Германия	Feno	70	шт.	45	3150
		Система управления. Димирование: адресное для пикселя					Германия	-		
2	СП4	Тип: Световые модули, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: LED White Питание: 24В (внешний БП)		Общее освещение	Германия	Feno	87	шт.	60	5220
		Система управления. Димирование: адресное для пикселя					Германия	-		

№	По проекту	Описание	Фото	Назначение	Производство	Модель	Кол-во	Ед. изм.	Номинальная мощность, Вт	Суммарная мощность, Вт
3	СП7.а	Тип: Профильный светодиодный светильник, IP20 Светораспределение: Эллиптическое ассиметричное Материал: Алюминий Отделка: Алюминий Источник света: LED RGBW Питание: 500мА (внешний БП)		Подсветка потолка по периметру	Италия	iLed	77	шт.		0
		Германия			Mean Well	77	шт.			
4	СП7. b	Тип: Профильный светодиодный светильник, IP20 Светораспределение: Эллиптическое ассиметричное Материал: Алюминий Отделка: Алюминий Источник света: LED RGBW Питание: 500мА (внешний БП)		Подсветка потолка по периметру	Италия	iLed	2	шт.		0
		Германия			Mean Well	2	шт.			
5	СП7.с	Тип: Профильный светодиодный светильник, IP20 Светораспределение: Эллиптическое ассиметричное Материал: Алюминий Отделка: Алюминий Источник света: LED RGBW Питание: 500мА (внешний БП)		Подсветка потолка по периметру	Италия	iLed	7	шт.		0
		Германия			Mean Well	7	шт.			
6	СП7. d	Тип: Профильный светодиодный светильник, IP20 Светораспределение: Эллиптическое ассиметричное Материал: Алюминий Отделка: Алюминий Источник света: LED RGBW Питание: 500мА (внешний БП)		Подсветка потолка по периметру	Италия	iLed	8	шт.		0
		Германия			Mean Well	8	шт.			
		Блок питания 500мА								
		Блок питания 500мА								
		Блок питания 500мА								
		Блок питания 500мА								

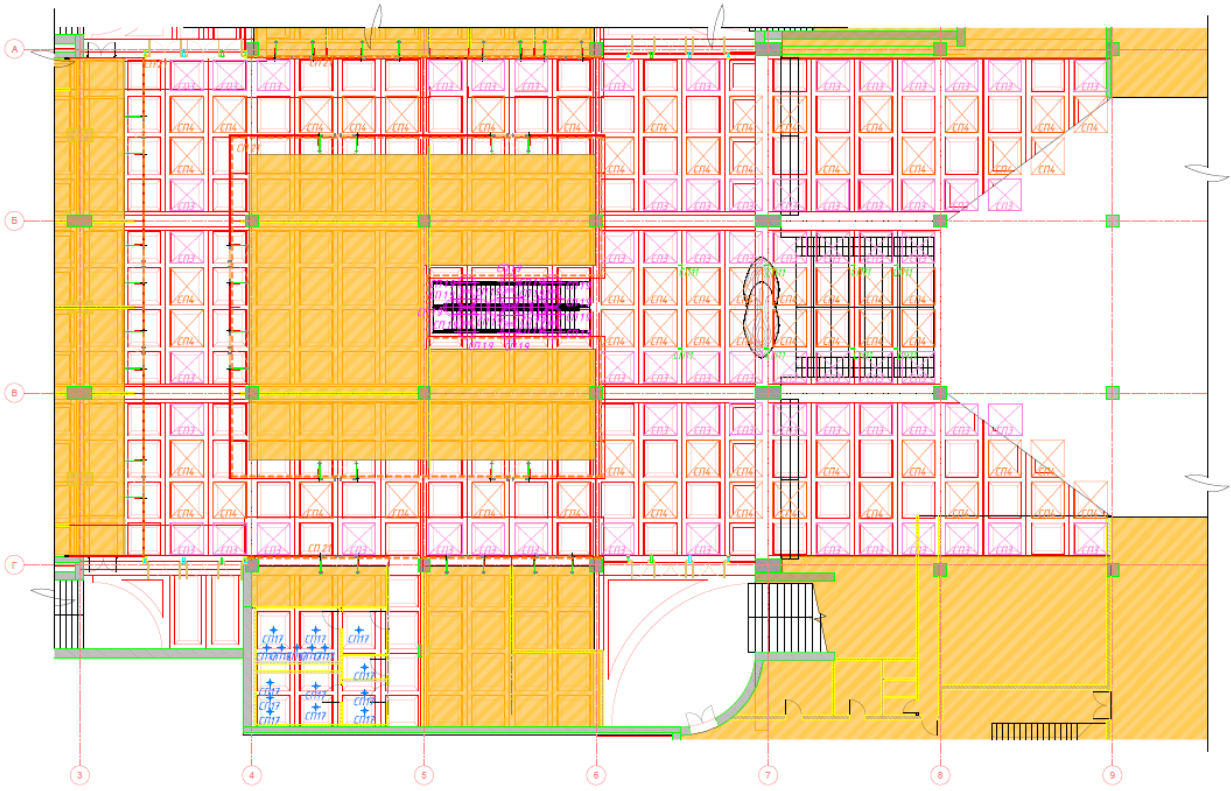
№	По проекту	Описание	Фото	Назначение	Производство	Модель	Кол-во	Ед. изм.	Номинальная мощность, Вт	Суммарная мощность, Вт
7	СП9	Тип: Профильный светодиодный светильник, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Алюминий Отделка: Алюминий Источник света: LED RGBW Питание: 500mA (внешний БП)		Подсветка витрин по периметру	Россия	Structura	316	м.п.	28,8	9100,8
8	СП11	Тип: Трековый потолочный светильник, IP20 Светораспределение: Широкое Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: МГЛ 70Вт G12 НИТ-СЕ Питание: 220В (Встроенный ЭПРА)		Общее освещение	Германия	ERCO Optec Spotlight	14	шт.	70	980
					ERCO	14	шт.			
		Германия			-	14	шт.			
9	СП18	Тип: Накладной настенный светильник, IP20 Светораспределение: Асимметричное Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: МГЛ 70Вт RX7s НИТ-DE-СЕ Питание: 220В (Встроенный ЭПРА)		Подсветка потолка в центральной части	Германия	ERCO	38	шт.	70	2660
		Германия			-	38	шт.			
10	СП10	Тип: Профильный светодиодный светильник, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Алюминий Отделка: Алюминий Источник света: LED RGBW Питание: 500mA (внешний БП)		Подсветка ступеней	Россия	Structura	48	м.п.	9,6	460,8
Зона лаундж										
11	СП12	Тип: Трековый потолочный светильник, IP20 Светораспределение: Среднее (29°) Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: Светодиодный модуль 48Вт 4000К Питание: 220В (Встроенный БП)		Акцентное освещение	Германия	ERCO	32	шт.	48	1536

№	По проекту	Описание	Фото	Назначение	Производство	Модель	Кол-во	Ед. изм.	Номинальная мощность, Вт	Суммарная мощность, Вт
12	СП13	Тип: Трековый потолочный светильник, IP20 Светораспределение: Узкое (15°) Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: Светодиодный модуль 48Вт 4000К Питание: 220В (Встроенный БП)		Акцентное освещение	Германия	ERCO	11	шт.	48	528
		Трековая система					Германия	ERCO		
13	СП20	Тип: Подвесной декоративный светильник, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Пластик Отделка: Белый Источник света: КЛЛ 24Вт G11 Питание: 220В (Встроенный ЭПРА)		Световой объект	Бельгия	Modular	24	шт.	72	1728
		КЛЛ 24Вт G11 4000К					Германия			
14	СП5	Тип: Световые модули, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: LED White Питание: 24В (внешний БП)		Общее освещение	Германия	Feno	24	шт.	20	480
		Система управления. Диммирование: адресное для пикселя					Германия	-		
15	СП6	Тип: Световые модули, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: LED White Питание: 24В (внешний БП)		Общее освещение	Германия	Feno	24	шт.	20	480
		Система управления. Диммирование: адресное для пикселя					Германия	-		
Пространство под антресолью										
16	СП8	Тип: Профильный светодиодный светильник, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Алюминий Отделка: Алюминий Источник света: LED RGBW Питание: 500мА (внешний БП)		Общий свет под пространством фастфуда	Россия	Structura	73	м.п.	28,8	2102,4

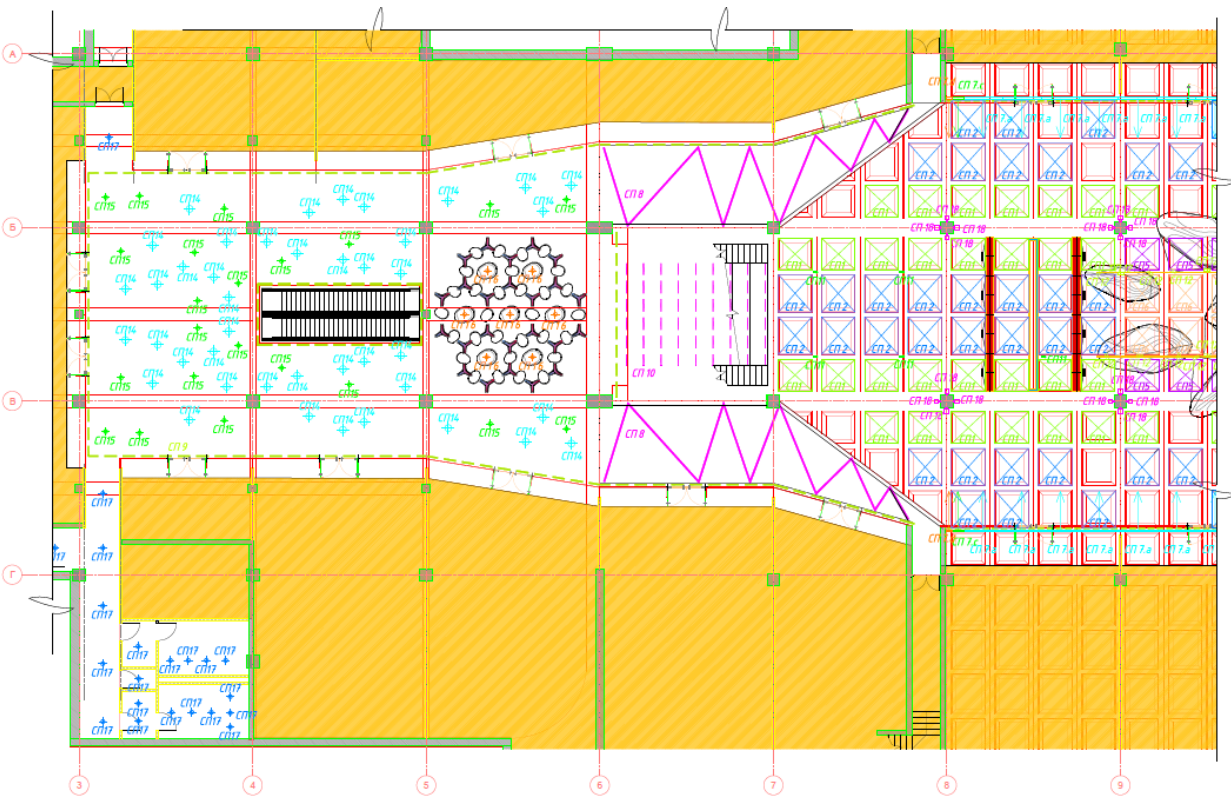
№	По проекту	Описание	Фото	Назначение	Производство	Модель	Кол-во	Ед. изм.	Номинальная мощность, Вт	Суммарная мощность, Вт
17	СП14	Тип: Встраиваемый потолочный светильник, IP20 Светораспределение: Широкое Материал: Гипс, Алюминий Отделка: Белый Источник света: МГЛ 35Вт G8,5 Питание: 220В (Встроенный ЭПРА)		Общее освещение	Италия	Flos USO KAP 105	42	шт.	35	1470
		Германия			Osram	42	шт.			
18	СП15	Тип: Встраиваемый потолочный светильник, IP20 Светораспределение: Широкое Материал: Гипс, Алюминий Отделка: Белый Источник света: МГЛ 35Вт G8,5 Питание: 220В (Встроенный ЭПРА)		Общее освещение	Италия	Flos USO KAP 105	22	шт.	35	770
		Германия			Osram	22	шт.			
18	СП16	Тип: Встраиваемый потолочный светильник, IP20 Светораспределение: Средне широкое (24°) Материал: Гипс, Алюминий Отделка: Белый Источник света: МГЛ 35Вт PGJ15 Питание: 220В (Встроенный ЭПРА)		Общее освещение	Италия	Flos	7	шт.	35	245
		Нидерланды			Philips	7	шт.			
Пространство над антресолю										
19	СП19 · VI	Тип: Подвесной модульный декоративный светильник, IP20 Светораспределение: Равномерное Материал: Пластик Отделка: Белый Источник света: КЛЛ 5Вт E27 Питание: 220В		Световой объект		Next DNA	17	шт.		0
		Германия				51	шт.			
20	СП19 · VII	Тип: Подвесной модульный декоративный светильник, IP20 Светораспределение: Равномерное Материал: Пластик Отделка: Белый Источник света: ЛЛ 49Вт G5 Питание: 220В (Встроенный ЭПРА)		Световой объект	Италия	Martinelli Luce 2023/A1 SISTEMA SHANGHAI	17	шт.		0

№	По проекту	Описание	Фото	Назначение	Производство	Модель	Кол-во	Ед. изм.	Номинальная мощность, Вт	Суммарная мощность, Вт
		ЛЛ 49Вт G5 4000К			Германия		17	шт.		
21	СП9	Тип: Накладной профильный светодиодный светильник, IP20 Светораспределение: Косинусное Материал: Алюминий Отделка: Алюминий Источник света: LED RGBW Питание: 500мА (внешний БП)		Подсветка потолка по периметру витрин	Россия	Structura	155	м.п.	28,8	4464
С/у нижний уровень										
19	СП17	Тип: Встраиваемый потолочный светильник, IP20 Светораспределение: Зависит от лампы Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: LED 10Вт G53 Питание: 220В (встроенный трансформатор)		Общее освещение	Италия	Flos Compass Box Recessed no Trim	21	шт.	10	210
		Германия			Sylvania	21	шт.			
С/у верхний уровень										
20	СП17	Тип: Встраиваемый потолочный светильник, IP20 Светораспределение: Зависит от лампы Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: LED 10Вт G53 Питание: 220В (встроенный трансформатор)		Общее освещение	Италия	Flos Compass Box Recessed no Trim	16	шт.	10	160
		Германия			Sylvania	0	шт.			
Галерея										
21	СП17	Тип: Встраиваемый потолочный светильник, IP20 Светораспределение: Зависит от лампы Материал: Алюминий Отделка: Белый Источник света: LED 10Вт G53 Питание: 220В (встроенный трансформатор)		Общее освещение	Италия	Flos Compass Box Recessed no Trim	20	шт.	10	200
		Германия			Sylvania	0	шт.			

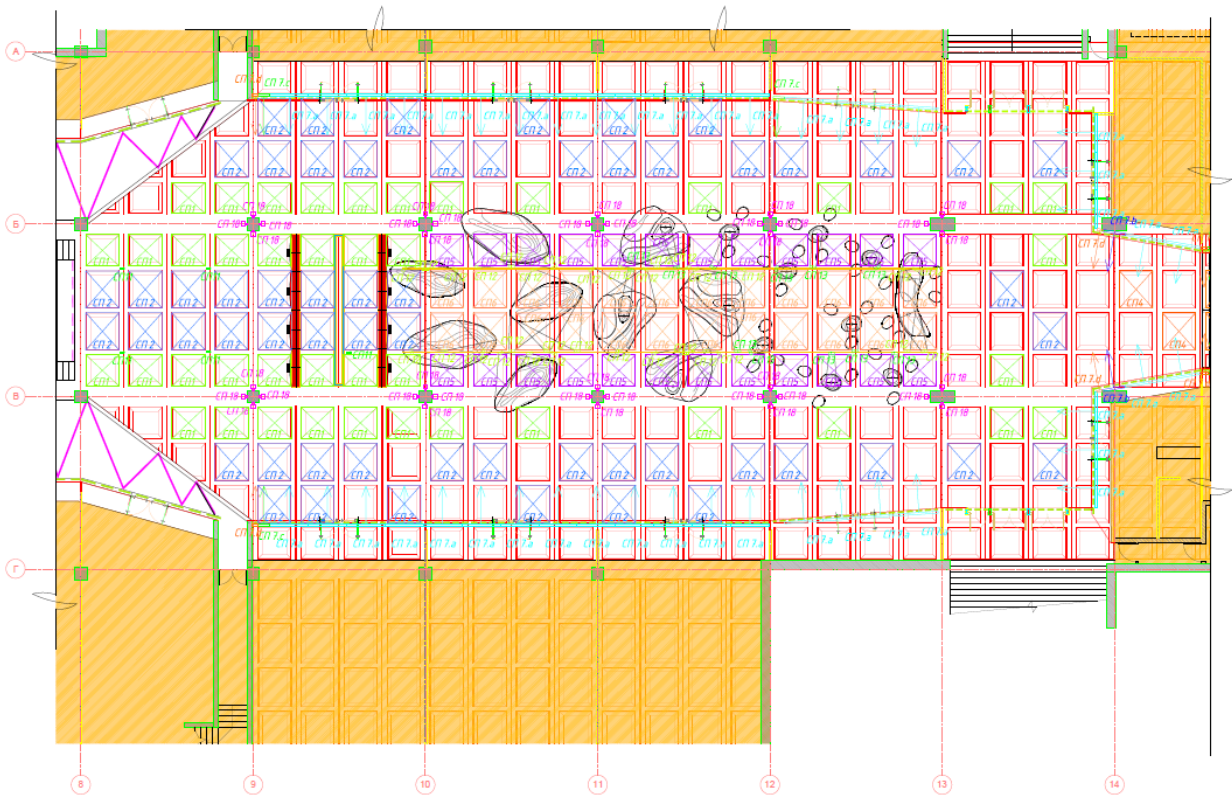
**Расстановка светотехнического оборудования по
проекту**



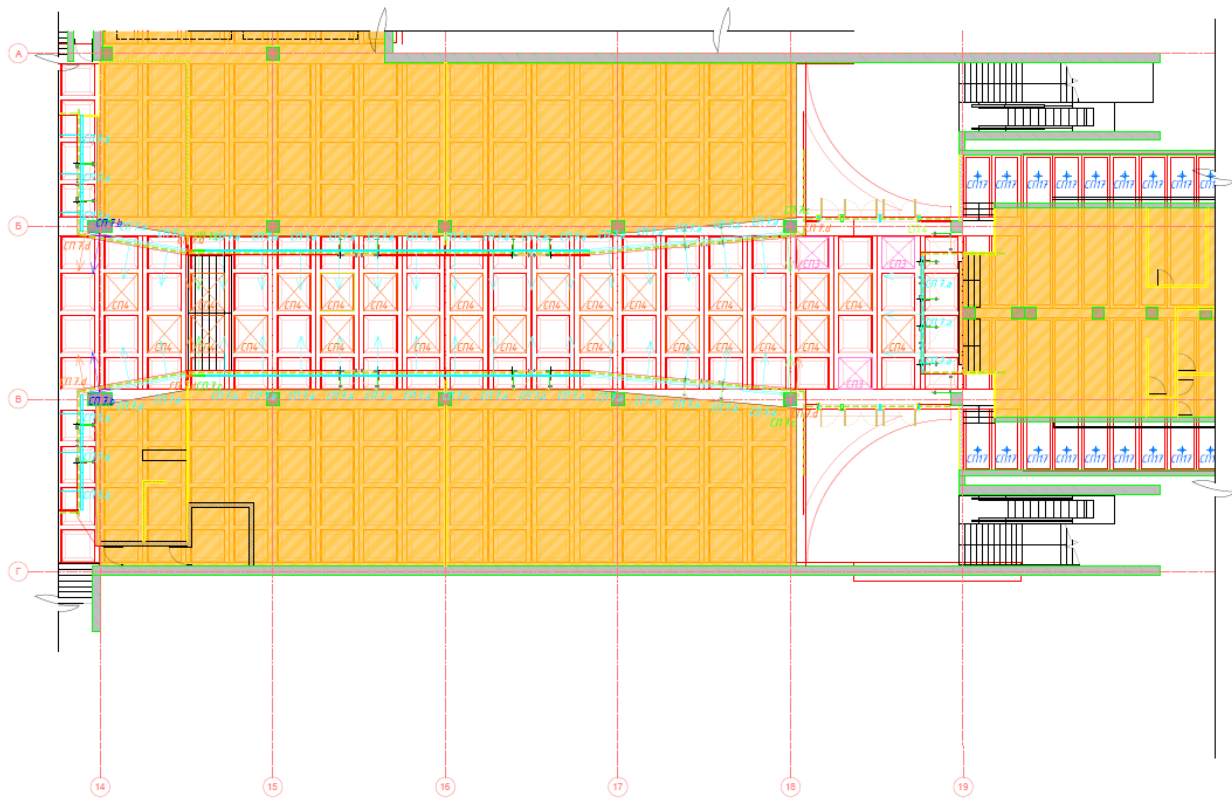
a)



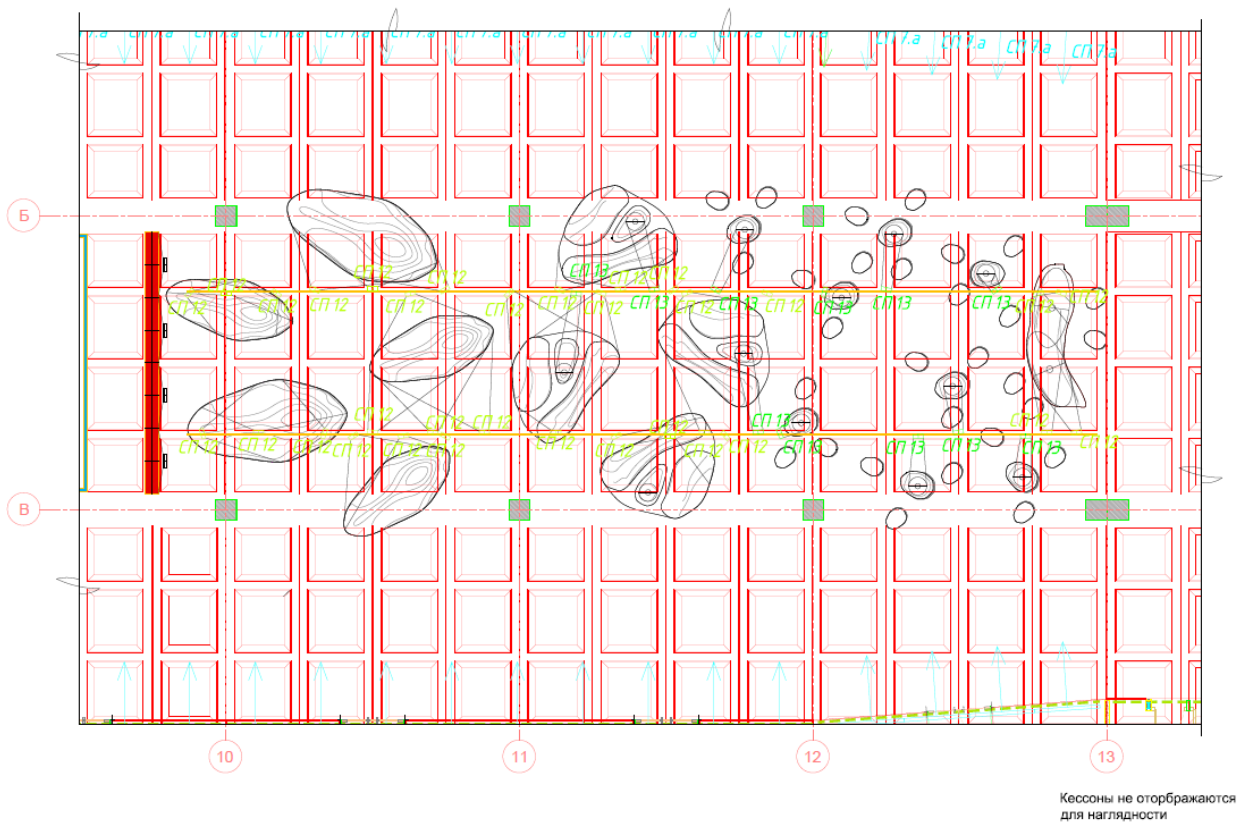
б)



B)



Г)



д)

Рисунок П.2.1 – Расстановка светотехнического оборудования по зонам:

- а) – амфитеатр, б) – зона под антресолью, в) – центральный остров и галереи,
 г) – атриум, д) – центральный остров

**Характеристики тристимульного колориметра LMT
C2200**

LMT Colormeter C 2200

- Microprocessor-controlled tristimulus colorimeter
- 5-inch monitor for 4-digit display of X-Y-Z. x-y-Y. u-v-Y. u'-v'-Y
- correlated color temperature and MPCD
- 6 measuring ranges in decades, resolution (last digit) 0.01 lx in Y-channel
- automated zero-adjustment, battery-buffered quartz clock
- built-in self-test, selector and battery-buffered memory for user-defined calibrations
- 19-inch 3 HU case for rack or bench mounting
- power supply for 115 V, 230 V, 50-60 Hz
- precision colorimeter head CH 60, by partial filtering very fine adjusted to the CIE color matching functions $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, and $z(\lambda)$
- light sensitive surface 60 mm dia, built-in thermostatic stabilization
- 3 m connection cable for CH 60
- calibration, traceable to PTB standard, with LMT calibration certificate
- individual test report on spectral sensitivity

Options

- IEEE-488 Bus Interface. Listener and Talker
- V.24- (RS 232-) Interface
- extended sensitivity, resolution (last digit) 0.001 lx in Y-channel, with additional measuring range
- carbon ribbon printer for data protocol
- paper for printer, 10 coils
- carbon ribbon for printer, 3 pieces
- additional connection cable for colorimeter head CH 60, 3 m
- additional connection cable for colorimeter head CH 60, up to 15 m
- power cable with plug for Switzerland, GB, USA

**Расчитанные значения координат цветности в системах
Lab, Luv**

Таблица П.4.1

Источник с Тцв=6500 К						
	Система Lab			Система Luv		
	L	a	b	L	u`	v`
1	34.3474	37.1712	-34.6012	34.3474	0.1105	0.3647
2	44.4918	59.4568	-53.3209	44.4918	0.1343	0.3263
3	43.21	59.1796	-54.5561	43.21	0.1334	0.3199
4	50.0042	48.0015	-45.9918	50.0042	0.1092	0.3634
5	58.2308	18.9826	-8.1203	58.2308	0.0936	0.4651
6	50.2713	-6.4497	20.4931	50.2713	0.0741	0.527
7	47.0463	-6.3422	12.335	47.0463	0.072	0.5132
8	60.3291	8.5614	25.4945	60.3291	0.0921	0.5267
9	89.1076	34.9735	54.7776	89.1076	0.1188	0.5504
10	84.9826	43.7152	54.4271	84.9826	0.1281	0.5421
11	81.6582	47.5653	59.3237	81.6582	0.1375	0.5546
12	71.7185	52.0191	56.2327	71.7185	0.1653	0.5532
13	49.5409	22.5752	38.0375	49.5409	0.2677	0.5228
14	40.9026	46.2121	13.1111	40.9026	0.2652	0.4831
15	36.5006	51.6727	11.646	36.5006	0.2399	0.4865
16	26.6025	55.9326	5.0511	26.6025	0.2251	0.4747
17	17.6107	48.4111	-0.2618	17.6107	0.2352	0.4536
18	34.0246	34.6647	-18.1467	34.0246	0.1225	0.4175
Источник с Тцв=5000 К						
	Система Lab			Система Luv		
	L	a	b	L	u`	v`
1	32.5388	4.275	-30.5005	32.5388	0.1276	0.4216
2	41.9705	22.4602	-47.0713	41.9705	0.1489	0.3909
3	40.5977	23.9321	-50.7478	40.5977	0.1481	0.3783
4	46.6856	0.6095	-42.7829	46.6856	0.1182	0.4151
5	55.2858	-17.3095	-8.2414	55.2858	0.1122	0.4944
6	47.8237	-30.7943	19.101	47.8237	0.0974	0.5405
7	44.4186	-31.4168	10.2267	44.4186	0.0923	0.5292
8	58.7732	-14.0618	25.5901	58.7732	0.1274	0.5396
9	90.4444	21.0232	59.3252	90.4444	0.1793	0.553
10	86.8635	28.9716	51.4265	86.8635	0.1898	0.5483
11	84.2999	35.521	56.6927	84.2999	0.203	0.555
12	76.2947	53.8403	56.8052	76.2947	0.2394	0.5523
13	59.7101	57.914	59.8229	59.7101	0.3445	0.5346
14	51.0644	56.249	35.8169	51.0644	0.362	0.518
15	45.4645	57.1511	31.5422	45.4645	0.3546	0.5177
16	34.2876	43.1042	22.2729	34.2876	0.3514	0.5132
17	25.7717	59.0551	17.2971	25.7717	0.3835	0.5061
18	34.1698	16.7351	-8.0832	34.1698	0.1736	0.479
Источник с Тцв=4000 К						
	Система Lab			Система Luv		
	L	a	b	L	u`	v`
1	31.8628	2.9065	-50.6379	31.8628	0.1244	0.496
2	41.0445	17.3802	-68.6442	41.0445	0.1474	0.4802
3	39.6795	20.9275	-78.4449	39.6795	0.1471	0.4619
4	45.5302	-1.7234	-71.6238	45.5302	0.111	0.4893
5	54.4566	-11.3095	-42.1645	54.4566	0.1139	0.5309
6	47.2099	-22.8286	-10.1767	47.2099	0.1021	0.5564

Источник с $T_{цв}=4000\text{ К}$						
	Система Lab			Система Luv		
	L	a	b	L	u^{\prime}	v^{\prime}
7	43.6968	-23.4131	-20.1657	43.6968	0.096	0.5487
8	58.4513	-4.8818	-6.3849	58.4513	0.1354	0.5546
9	90.9327	35.7455	27.6395	90.9327	0.1929	0.5579
10	87.4965	42.1985	25.6508	87.4965	0.2036	0.556
11	85.1428	48.2984	43.9706	85.1428	0.2167	0.5588
12	77.5643	45.2667	49.5548	77.5643	0.2537	0.5552
13	62.0274	55.9474	45.5701	62.0274	0.3567	0.5406
14	53.2934	53.5732	23.6894	53.2934	0.379	0.5319
15	47.4187	44.6178	18.855	47.4187	0.3745	0.5314
16	35.909	39.3893	11.9539	35.909	0.3735	0.5296
17	27.3615	34.4253	9.507	27.3615	0.407	0.5242
18	34.0978	18.1531	-13.7622	34.0978	0.1866	0.538

Источник с $T_{цв}=3500\text{ К}$						
	Система Lab			Система Luv		
	L	a	b	L	u^{\prime}	v^{\prime}
1	31.3792	-1.3682	-56.4412	31.3792	0.1297	0.5357
2	40.3349	8.4803	-58.2663	40.3349	0.1528	0.5327
3	39.0621	14.789	-59.1777	39.0621	0.1526	0.5098
4	44.673	-7.7407	-56.7975	44.673	0.1124	0.5298
5	53.7814	-11.5376	-80.935	53.7814	0.1197	0.5468
6	46.6252	-21.3837	-44.5613	46.6252	0.109	0.5627
7	43.0739	-21.5729	-56.0377	43.0739	0.1022	0.5568
8	58.11	-3.4562	-44.9593	58.11	0.145	0.56
9	91.2508	37.9558	-23.395	91.2508	0.2064	0.559
10	87.9294	43.5665	-18.5462	87.9294	0.217	0.5581
11	85.7308	49.3641	2.7035	85.7308	0.23	0.5593
12	78.5354	55.6241	14.2028	78.5354	0.267	0.5553
13	63.8907	54.5743	25.6015	63.8907	0.3658	0.5422
14	55.0873	52.6098	9.4531	55.0873	0.3905	0.5365
15	49.0041	44.4437	3.456	49.0041	0.3887	0.5357
16	37.2428	39.4521	0.1149	37.2428	0.3892	0.5349
17	28.6788	34.6007	0.7986	28.6788	0.4227	0.5301
18	33.9978	15.0286	11.9681	33.9978	0.203	0.566

Источник с $T_{цв}=3000\text{ К}$						
	Система Lab			Система Luv		
	L	a	b	L	u^{\prime}	v^{\prime}
1	30.0359	-22.8913	-56.367	30.0359	0.1309	0.5903
2	36.982	-73.1719	-17.9893	36.982	0.1552	0.6095
3	37.5919	-4.3839	-11.8796	37.5919	0.1553	0.5809
4	43.1216	-27.771	-19.0453	43.1216	0.1097	0.5875
5	54.322	14.2363	-54.1055	54.322	0.1227	0.567
6	47.18	5.3397	-37.8958	47.18	0.1131	0.5705
7	43.8233	9.7633	-52.5688	43.8233	0.1059	0.5667
8	58.896	21.5287	-59.2078	58.896	0.1511	0.5668
9	92.7069	63.929	-53.9786	92.7069	0.2148	0.5608
10	89.2016	64.1998	-59.0186	89.2016	0.2255	0.561
11	86.9803	67.074	-50.8135	86.9803	0.2382	0.5606
12	79.9066	79.0357	-57.9466	79.9066	0.2749	0.5562
13	65.5751	59.6209	36.0593	65.5751	0.3713	0.5442

Источник с $T_{цв}=3000$ К						
	Система Lab			Система Luv		
14	56.5745	56.6372	-38.2727	56.5745	0.3979	0.5411
15	50.391	59.1318	53.7955	50.391	0.3976	0.5403
16	38.3564	42.9939	-2.0175	38.3564	0.3992	0.5405
17	29.717	37.1665	-29.8326	29.717	0.4327	0.5361
18	31.967	-25.3896	-283.5529	31.967	0.2147	0.5996

Источник с $T_{цв}=2800$ К						
	Система Lab			Система Luv		
	L	a	b	L	u`	v`
1	31.3792	-1.3682	-56.4412	31.3792	0.1361	0.6462
2	40.3349	8.4803	-58.2663	40.3349	0.1617	0.6957
3	39.0621	14.789	-53.1777	39.0621	0.162	0.6594
4	44.673	-7.7407	-56.7975	44.673	0.11	0.6488
5	53.7814	-11.5376	-50.935	53.7814	0.128	0.585
6	46.6252	-21.3837	-44.5613	46.6252	0.1191	0.577
7	43.0739	-21.5729	-56.0377	43.0739	0.1114	0.5752
8	58.11	-3.4562	-44.9593	58.11	0.1591	0.5721
9	91.2508	37.9558	-23.395	91.2508	0.225	0.5619
10	87.9294	43.5665	-18.5462	87.9294	0.2356	0.563
11	85.7308	49.3641	2.7035	85.7308	0.2479	0.5611
12	78.5354	55.6241	14.2028	78.5354	0.2842	0.5564
13	63.8907	54.5743	25.6015	63.8907	0.3771	0.5453
14	55.0873	52.6098	9.4531	55.0873	0.4053	0.5443
15	49.0041	44.4437	3.456	49.0041	0.4067	0.5434
16	37.2428	39.4521	0.1149	37.2428	0.4093	0.5443
17	28.6788	34.6007	0.7986	28.6788	0.4424	0.5401
18	33.9978	15.0286	11.9681	33.9978	0.2301	0.6298