

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Физики высоких технологий  
Направление подготовки: 12.04.02 «Опtotехника»  
Кафедра Лазерной и световой техники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Потенциал энергосбережения и способы его реализации в системах электрического освещения</b>

УДК 628.973.2:725.21

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Даукенова Нурия Аскарровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЛиСТ	Коржнева Татьяна Геннадьевна	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Петухов Олег Николаевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Задорожная Татьяна Анатольевна			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

И.О. Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Лазерной и световой техники	Полисадова Елена Федоровна	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2017 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС-3, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P1	Способность формулировать цели, задачи и составлять план научного исследования в области светотехники и фотонных технологий и материалов, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи	Требования ФГОС-3 (ОК-1, ОПК- 1, ПК-1, 2, 10) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1-5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI. Требования работодателей.
P2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов	Требования ФГОС-3 (ОПК-2, ПК- 3, 4, 5, 19) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P3	Способность к исследованию и анализу состояния научно-технической проблемы, технического задания, к постановке цели и задач проектирования в области светотехники, оплотехники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы	Требования ФГОС-3 (ПК- 6, 7, 10) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.4, 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной, облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности	Требования ФГОС-3 (ПК- 8, 9, 10, 11) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.4, 5.2.10), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля качества изготовления	Требования ФГОС-3 (ПК-9, 12, 13, 14,15, 16, 17, ПК-9) Критерий 5 АИОР (пп 5.2.2, 5.2.8), согласованный с

	деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов	требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные светотехнические и оптические приборы и устройства, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС-3 (ОПК-2, ПК- 3, 11, 15, 16, 21) Критерий 5 АИОР (пп 5.2.10, 5.2.16, 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P7	Способность проявлять творческий, нестандартный подход, требующий абстрактного мышления, при решении конкретных научных, технологических и проектно-конструкторских задач в области фотонных технологий и материалов и светотехники, нести ответственность за принятые решения	Требования ФГОС-3 (ОК-1, 2, ОПК-1, 2, ПК-9) Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7, 5.2.9), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P8	Способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Требования ФГОС-3 (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п. 5.2.16), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.
P9	Способность к инновационной инженерной деятельности, менеджменту в области организации освоения новых видов перспективной и конкурентоспособной оптической, оптико-электронной и световой, лазерной техники с учетом социально-экономических последствий технических решений	Требования ФГОС-3 (ОПК-1, ПК-20, 22, 23), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.12, 5.2.14, 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей
P10	Способность к координации и организации работы научно-производственного коллектива, принятию исполнительских решений для комплексного решения исследовательских, проектных, производственно-технологических, инновационных задач в области светотехники и фотонных технологий и материалов	Требования ФГОС-3 (ПК- 18, 24), Критерий 5 АИОР (пп 5.2.11, 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования раотодателей.
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС-3 (ОПК-3) Критерий 5 АИОР (5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI Требования работодателей.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий  
 Направление подготовки: 12.04.02 «Оптотехника»  
 Кафедра лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:  
 И.О. Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Полисадова Е.Ф.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ5А	Дауковой Нурие Аскаровне

Тема работы:

Потенциал энергосбережения и способы его реализации в системах электрического освещения	
Утверждена приказом директора	05.04.2017 № 2297/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования: Научно-техническая библиотека Томского политехнического университета, г. Томск, Белинского 53 а
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Аналитический литературный обзор по теме: потенциал энергосбережения и способы его реализации в системах электрического освещения (энергосбережение в светотехнических установках, нормирование, требование к освещению библиотеки). Цели задачи энергоаудита, методы проведения. Измерения цветовой температуры и индекса цветопередачи. Разработка искусственного освещения объекта исследования.
<b>Перечень графического материала</b>	Реконструкция проекта освещения и моделирования (рисунки 3D модели объекта и распределение освещённости в фиктивных цветах). Электротехнический раздел. Трассировка групповых кабельных линий, расчёт однолинейной схемы, спецификация оборудования.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Петухов О.Н., доцент каф. менеджмента ИСГТ

Социальная ответственность	Задорожная Т.А., ассистент каф. экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК
Разделы, выполненные на иностранном языке	Надеждина Е.Ю, доцент каф. иностранных языков ФТИ
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Глава 3. Метод измерения и определения цветовой температуры и индекса цветопередачи Chapter 3. Method for measuring and determining the color temperature and color-rendering index	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЛиСТ	Коржнева Т.Г.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Даукенова Н.А.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ5А	Дауковой Нурие Аскаровне

Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛиСТ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	12.04.02 «Оптотехника»

### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. Стоимость ресурсов исследования (НИ): материально-технических; энергетических; финансовых; человеческих; 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов; 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	Определение значимости выполняемых функций объектом; Требования к светильникам для модернизации системы освещения. Расчёт экономии электроэнергии и затрат;
--	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчёт срока окупаемости.
---	---------------------------

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Диаграмма Ганта;  
 Расчёт эффективности замены на светодиодное освещения.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов Олег Николаевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Даукова Нурия Аскаровна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ5А	Даукеновой Нурие Аскарковне

Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛиСТ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	12.04.02, «Оптотехника»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Главной задачей ВКР является разработка проекта системы освещения для энергосбережения в НТБ ТПУ (г.Томск) при помощи замены источников освещения люминесцентных светильников на светодиодные
--	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	Недостаточное освещение рабочей зоны; Пульсация освещенности; Электрический ток.
<b>2. Экологическая безопасность:</b> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу(отходы)	Светодиодные лампы освещения отличаются прочностью, они не греются и, как следствие, пожаробезопасные, не содержат токсичных веществ и потому не требуют специальной утилизации.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Возможные ЧС на объекте: короткое замыкание электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования. Разработка мер по предотвращению и ликвидации последствий.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Рациональное и эффективное размещение светодиодных светильников при эксплуатации

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Задорожная Т. А.			

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Даукенова Н.А.		

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ**

В настоящей работе использованы следующие обозначения и сокращения:

НТБ – научно-техническая библиотека

ЭЭ – электрическая энергия;

ЭА – энергоаудит;

ОП – осветительный прибор;

ИС – источник света;

КЕО – коэффициент естественного освещения;

КЛЛ – компактная люминесцентная лампа;

ЛЛ – люминесцентная лампа;

ОУ – осветительная установка;

СД – светодиод;

$K_p$  – коэффициент пульсации;

ПРА – пускорегулирующий аппарат;

ЭПРА – электронная пускорегулирующая аппарат;

ЭмПРА – электромагнитная пускорегулирующая аппаратура;

КЦТ – коррелированная цветовая температура;

МКО – модель цветового пространства;

ЧС – чрезвычайная ситуация;



## РЕФЕРАТ

**Выпускная квалификационная работа:** 143 страниц, 20 рисунков, 31 таблиц, 40 источников, 7 приложений.

**Ключевые слова:** ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЭНЕРГОАУДИТ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ, ОСВЕЩЁННОСТЬ, ЦВЕТОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА, ИНДЕКС ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ, ОСВЕТИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА, СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА.

**Объектом исследования** является осветительная установка Научно-технической библиотеки Томского политехнического университета.

**Целью работы** является выявление потенциала экономии электроэнергии в осветительных сетях общественных зданиях и определение способов его реализации.

**В процессе исследования** приводился светотехнический аудит осветительной установки помещений здания Научно-техническая библиотека ТПУ, г. Томск.

**В результате исследования** составлен протокол результатов аудиторского обследования, разработаны рекомендации по повышению энергоэффективности осветительной установки, рассчитаны цветовая температура и индекс цветопередачи источников света, применяемых для реконструкции.

**Степень внедрения:** выполнено светотехническое моделирование осветительной установки в программном комплексе DIALux.

**Экономическая эффективность и значимость работы:** модернизация осветительной установки библиотеки приведёт к уменьшению потребления электроэнергии, снижению удельной мощности, снижению денежных затрат на оплату электроэнергии, а также к улучшению качественных и количественных показателей световой среды.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	13
1. Энергосбережение в светотехнических установках.....	16
1.1. Нормирование.....	16
1.2. Эффективность использования электроэнергии для освещения.....	20
1.3. Критерии оценки энергоэффективности осветительной установки....	23
1.4. Вывод по главе.....	27
2. Энергоаудит в осветительных установках.....	28
2.1. Основные этапы проведения энергетического аудита.....	30
2.2. Методология светотехнического аудита.....	31
2.2.1. Аппаратура.....	33
2.2.2. Подготовка к измерениям.....	33
2.2.3. Проведение измерений.....	37
2.2.4. Обработка результатов измерений.....	38
2.3. Требования к освещению библиотеки.....	40
2.4. Вывод по главе.....	45
3. Метод измерения и определения цветовой температуры и индекса цветопередачи.....	46
3.1. Термины и определения.....	46
3.2. Требования к условиям проведения измерений и источником излучения.....	47
3.3. Требования к образцам цвета.....	47
3.4. Определение цветовой температуры .....	48
3.5. Определение координат цвета образцов .....	50
3.6. Преобразование координат $X, Y, Z$ и $x, y$ в координаты $u, v$ .....	52
3.7. Учёт цветового смещения .....	52
3.8. Преобразование и координаты равноконтрастного цветового пространства.....	54
3.9. Определение результирующего цветового смещения .....	55

3.10. Расчет индекса цветопередачи.....	55
3.11. Вывод по главе .....	56
4. Реконструкция системы освещения НТБ ТПУ.....	57
4.1. Объект исследования.....	57
4.2. Выбор осветительной установки для реконструкции.....	57
4.3. Освещение компьютерного зала.....	58
4.4. Освещение читального зала.....	61
4.5. Освещение холла.....	62
4.6. Освещение лестницы.....	64
4.7. Электрический расчет осветительной сети.....	66
4.8. Вывод по главе.....	69
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	70
Введение.....	70
5.1. План проекта.....	71
5.2. Выбор объекта FAST-анализа.....	73
5.2.1. Определение значимости выполняемых функций объектом.....	74
5.3. Требования к светильникам для модернизации системы освещения.....	75
5.4. Расчёт экономии электроэнергии и затрат.....	78
6. Социальная ответственность.....	79
Введение.....	79
6.1. Производственная безопасность.....	80
6.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	80
6.1.2. Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при использования объекта исследований.....	80
6.1.3. Анализ выявленных опасных факторов рабочего помещения.....	83
6.2. Экологическая безопасность.....	84

6.2.1. Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду.....	84
6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. ....	85
6.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	85
6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	91
6.4.1. Правила установки и монтажа для обеспечения безопасности эксплуатации осветительной установки.....	91
Заключение.....	94
Список использованной литературы.....	96
Приложения А.....	100
Приложения Б.....	111
Приложения В.....	131
Приложения Г.....	133
Приложения Д.....	135
Приложения Е.....	137
Приложения Ж.....	138

## Введение

**Актуальность работы.** В осветительных установках расходуется около 13% всей генерируемой электрической энергии, т. е почти 107,6 млрд. кВт·ч.

Установлена неэффективность расхода электроэнергии (ЭЭ) на цели искусственного освещения (ИО) ввиду использования устаревших/неэкономичных источников света (ИС); не уделено достаточного внимания к выбору ОУ; отсутствует должный подход к вопросам регулирования и эксплуатации освещения.

Также на предприятиях зачастую отсутствует техническая информация об ОУ: количестве светильников, их типе, мощности ламп, особенностях электрического питания, в том числе о числе часов использования в год, сроках и методах очистки и т.д.

При этом, парк установленных в стране светильников превышает 1 млрд. штук.

Вместе с тем, как показали исследования, имеется реальная возможность практически вдвое снизить расход электроэнергии без ухудшения условий освещения за счёт совершенствования средств и способов освещения, реконструкции действующих установок и организации их грамотной эксплуатации.

Образовательные учреждения являются крупными потребителями энергетических ресурсов. Согласно Федеральному закону от 23 ноября 2009г. 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законные акты Российской Федерации» образовательные учреждения должны обеспечить снижение энергопотребления минимум 3% в год в течении пяти лет. Таким образом, энергопотребление должно быть снижено минимум на 15%.

Важной составляющей системы энергетического менеджмента является энергоаудит – отправная точка развития программы повышения энергоэффективности любого предприятия.

Он позволяет проанализировать использование энергетических ресурсов предприятий, их стоимость, выявить места нерационального использования ресурсов, разработать программу энергосберегающих мероприятий.

Основание для проведения энергетического обследования в ТПУ:

Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации»

Приказ Минобрнауки России от 18 апреля 2012 года № 309 «Об организации работы в Министерстве образования и науки РФ по реализации федерального закона от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

Программа энергосбережения ТПУ. Цель программы – эффективное использование энергетических ресурсов путём реализации организационных, правовых, экономических, научно-технических и технологических мероприятий.

**Задачи (организационно-технические):**

- сокращение расходов бюджета НИ ТПУ;
- сокращение потерь энергоресурсов в инженерных сетях;
- повышение качества функционирования энергопотребляющих установок;
- повышение уровня теплозащиты зданий;
- создание системы приборного учёта отпущенной и потреблённой энергии и потерь энергоресурсов в инженерных сетях.

**Задачи (Мотивационные):**

Создание и развитие механизма стимулирования энергосбережения.

Формирование у персонала и студентов НИ ТПУ мотивации энергоресурсосберегающего поведения.

**Ожидаемые конечные результаты программы:**

- снижение удельного расхода электроэнергии приблизительно на 30%;

- снижение удельного расхода тепловой энергии приблизительно на 20%;
- улучшение условий труда;
- снижение уровня загрязнения окружающей среды.

**Целью работы** является выявление потенциала экономии электроэнергии в осветительных сетях общественных зданиях (Научно-техническая библиотека ТПУ, г. Томск) и определение способов его реализации.

Для достижения данной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Анализ литературных источников на тему энергосбережения и повышения энергетической эффективности (теоретическое обоснование важности ресурсосбережения);

2. Проведение энергетического аудита системы электрического освещения библиотеки объекта исследования (НТБ ТПУ, г. Томск);

3. Разработка проекта реконструкции: светотехнический раздел (проектирование в программном комплексе Dialux), электротехнический раздел (трассировка кабельных линий, однолинейная принципиальная схема);

4. Расчёт экономического обоснования предлагаемых методов энергосбережения;

5. Определение цветовой температуры и индекса цветопередачи осветительного прибора, применяемого для реконструкции.

**Научная новизна диссертации:** заключается в разработке методов компьютерного моделирования ОУ на основе современных программ. Данные методы позволят поднять качественный уровень проектирования ОУ, а их использование на практике даст возможность в разы экономить время разработки проекта освещения. В данной работе формулируются основные методы измерения цветовой температуры и индекса цветопередачи.

## **1. Энергосбережение в светотехнических установках**

### **1.1. Нормирование**

Проблема энергосбережения в осветительных установках всех стран мира, не только передовых, но и развивающихся, приобрела за последние годы исключительное значение. При этом от успехов в решении этой проблемы во многом зависит будущее человеческой цивилизации не только в связи с постепенным исчерпыванием горючих ископаемых, идущих на выработку электроэнергии, но и из-за быстро происходящего загрязнения окружающей среды выбросами в атмосферу вредных веществ (диоксидов углерода и серы, а также ртути), образуемых в результате сжигания топлива при производстве электроэнергии. Известно, что при выработке на тепловых электростанциях (работающих на угле) 1 кВт·ч электроэнергии (ЭЭ) в атмосферу выбрасывается около 1 кг CO<sub>2</sub>. Проблема в значительной мере связана также с непрерывно происходящим 35 увеличением масштабов осветительных установок (ОУ) и потреблением в них ЭЭ.

Увеличение энергоэффективности осветительных установках (ОУ) неразделимо сопряжено с проблемой комплексного уменьшения расходов в ОУ, так как для каждого потребителя важно не только понижение энергоёмкости, но и срок окупаемости расходов на новейшую либо переоборудуемую ОУ. В конечном результате эффективность ОУ обуславливается ценой световой энергии, генерируемой за период работы ОУ и в существенной степени зависящей от расходов на электроэнергию (ЭЭ).

Как известно, любой ОУ структура стоимостных показателей складывается, в принципе, следующим образом:

- капитальные затраты на осветительные приборы (ОП) и источники света (ИС) – 10-15%;
- затраты на монтаж и обслуживание ОП – 15%;
- стоимость электроэнергии – 70-75%.



Экономность электроэнергии на освещение никак не должна достигаться за счёт уменьшения норм освещённости, отключения части световых устройств или отказа от применения искусственного освещения при недостающем уровне естественного освещения, так как утраты от ухудшения существенно превышают стоимость сэкономленной электроэнергии.

Эффективной следует считать такую ОУ, которая формирует качественное освещение и сохраняет собственные свойства в течении продолжительной работы при меньших капитальных и эксплуатационных расходах, наименьшем количестве энергопотреблении.

Эффективность ОУ зависит прежде всего от:

- световой отдачи ИС и их срока службы;
- светотехнических и энергетических параметров ОП;
- стабильности на протяжении эксплуатации параметров светильников и, в частности, характеристик ИС при работе их в светильнике;
- тарифов на ЭЭ;
- числа часов использования ОУ в год.

Наравне с данным, существенную роль имеет цена на монтаж и обслуживания.

Отсюда очевидна потребность при решении вопроса энергосбережения, проанализировать масштабы применения разных групп:

- источников света;
- осветительных приборов;
- пускорегулирующей аппаратуры;
- систем, сокращающих время использования искусственного освещения;
- способов сохранения характеристик ОУ в процесс длительной работы.

Совместно с этим, немаловажную роль имеют энергосберегающие методы освещения и современные способы и системы эксплуатации ОУ.

Важной задачей считается законодательные утверждение энергосберегающих требований в светотехнических изделиях и установках в стандартах, нормах и правилах.

В 1997 – 98 годах разработаны новые «Нормы энергосбережения при проектировании осветительных установках г. Москвы » МГСН 2.01-99, утверждённые Правительством Москвы 23.02.99 г.

Таблица 1.1 – значения удельной мощности приведены с учётом потребления мощности в пускорегулирующих устройствах, а также устройствах управления освещением. [1]

Наименование помещения	Максимальная нормируемая освещённость по МГСН 2.06-97	Максимально допустимая удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup> не более
1	2	3
Здания управления (министерства, ведомства, комитеты, управления, префектуры, муниципалитеты), конструкторских и проектных организаций, научно-исследовательских учреждений, библиотеки		
Кабинеты и рабочие комнаты, офисы, машинописные и машиносчётные бюро	400	25
Проектные комнаты и залы, конструкторские и чертёжные бюро	500	35
Помещения для ксерокопирования, электрофотографирования и т.п.	400	25
Помещения для работы с дисплеями, видеотерминалами, мониторами	400	25
Читальные залы	400	25
Лаборатории	500	35
Учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования		
Операционный зал, кассовый зал	500	35
Общеобразовательные школы и школы интернаты, профессионально-технические, средние специальные и высшие учебные заведения		
Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборантские, кабинеты информатики и вычислительной техники	400	25
Детские дошкольные учреждения		
Групповые, игральные, столовые, комнаты для музыкальных и гимнастических занятий	400	25
Предприятия общественного питания		

Обеденные залы столовых, закусочных буфетов	200	14
Помещения приготовления пищи	400	25
Магазины		
Торговые залы супермаркетов	500	35
Торговые залы магазинов	400	25
Предприятия бытового обслуживания населения		
Парикмахерские	400	25
Ателье пошива и ремонта одежды	750	52
Аптеки		
Залы обслуживания посетителей	200	14
Жилые здания		
Комнаты общежитий	300	20
Поэтажные вне квартирные коридоры, лестницы, вестибюли жилых зданий	20	4
Закрытые стоянки, депо		
Помещения для закрытого хранения подвижного состава на транспортных предприятиях и общественных учреждениях	75	10
Станция технического обслуживания транспорта, транспортные предприятия		
Участки, посты мойки	200	14
Участки диагностирования автомобилей	300	20
Участки технического обслуживания	200	14

Вновь формируемые и реконструируемые ОУ обязаны соответствовать условиям новейших энергосберегающих норм. В качестве энергетического показателя, определяющего рациональное употребление электроэнергии, определена удельная установленная мощность, Вт/м<sup>2</sup>.

Новые энергосберегающие нормы позволяют при их использовании уменьшить расходы электричества в ОУ зданий в 20 – 40%. Помимо этого, их необходимо расценивать как базу нормативной основы с целью контролирования энергозатрат в ОУ в стадии экспертизы проектов. В соответствии с новым нормам, ОУ, отработавшие более 8 лет, обязаны быть реконструированы.

## **1.2. Эффективность использования электроэнергии для освещения**

Согласно оценке Международного энергетического учреждения 19% всей потребляемой в мире электроэнергии используется на освещение. Инновационные световые технологии дают возможность сэкономить вплоть до 40% потребляемой электроэнергии, то что в всемирном масштабе эквивалентно 106 миллиардов евро в год. В экологическом отношении это соответствует: уменьшению выбросов углекислого газа в атмосферу в 555 миллион т в год, ежегодному сбережению 2 ТВт электроэнергии и экономии 1,5 миллиардов баррелей нефти.

В России экономия электроэнергии ОУ имеет важность, так как на потребности освещения используется приблизительно 14 % всей вырабатываемой электроэнергии. Часть потребляемой электроэнергии ОУ в разных экономных организациях колеблется от 10 до 70 %. Экономность электроэнергии светотехнической части ОУ и систем управления, регулировки освещения и осветительных сетей, рациональной организации эксплуатации освещения.

ОУ осветительных сетей и самооптимизация светотехнической части содержит в себе последующие мероприятия: подходящий подбор системы освещения и видов ИС; утверждение экономичных схем размещения светильников согласно светораспределению и конструктивному выполнению.

Основной тип ламп, используемый в различных бюджетных учреждениях, – это ЛЛ. Лампы высокого давления применяются в меньшей степени, в основном для освещения промышленных предприятий, спортивных залов и прилегающей территории.

Самый малый срок службы и самую низкую световую отдачу имеют лампы накаливания. В бюджетных учреждениях, во вспомогательных и на лестничных клетках и коридорах, подсобных помещениях, а также там, где другие лампы не подходят по условиям окружающей среды (повышенная влажность и др.), или при специальных требованиях по ограничению

радиопомех чаще всего используют ЛН. Значение напряжения питания сильно влияет на срок службы ЛН.

Световая отдача ЛЛ составляет 50-115 лм/Вт, что намного выше, чем у ЛН. Срок службы ЛЛ (не менее 5000 ч) также существенно выше срока службы ЛН.

Разрядные лампы высокого давления широко используется для наружного освещения и для освещения производственных помещений, в которых нет жёстких требований к качеству цветопередачи. Электрические и световые параметры РЛВД мало зависят от влажности и температуры окружающего воздуха. Потери мощности в индуктивных ПРА составляют до 10 % мощности лампы. На световые параметры ламп влияет их положение: в горизонтальном положении световой поток может снизиться до 15 % по сравнению с вертикальным положением. Световая отдача и срок службы у ДРЛ и МГЛ примерно такие же, как и у ЛЛ. У натриевых ламп световая отдача примерно в 2 раза выше, но очень плохая цветопередача.

В последнее время появился новый вид ИС – СИД. Они имеют очень большой срок службы (до 50 тыс. ч) и высокую световую отдачу. На лабораторных образцах СИД достигнута рекордная световая отдача – 250 лм/Вт; доступные СИД некоторых фирм (Cree, Philips, OSRAM, «Оптоган») имеют световую отдачу более 100 лм/Вт. В области энергосбережения СИД открывают беспрецедентные перспективы.

В таблице 1.2 представлены некоторые параметры основных групп ИС, главной из которых является показатель удельной световой энергии, вырабатываемой за срок службы. Если световую энергию от ЛН принять за единицу, то все остальные типы ламп многократно вырабатывают больше световой энергии. Необходимо отметить, что ЛН, которые сыграли огромную роль в развитии человечества, сегодня являются устаревшими ИС.

Таблица 1.2 – Основные параметры ИС [2]

Тип	Средний срок службы, тыс. ч	Индекс цветопередачи, Ra	Световая отдача, лм/Вт	Удельная световая энергия, вырабатываемая за срок службы (среднее значение)	
				Млм*ч/Вт	отн.ед.
ЛН	1	100	8-17	0,013	1
КЛЛ	10-20	57-92	48-104	1,140	88
ДРЛ	12-24	40-57	19-63	0,738	57
НЛВД	10-28	21-40	61-150	2,050	157
МГЛ	3,5-20	65-93	68-120	1,020	78
СИД	25	85-90	До 150	2,500	192

В многочисленных государствах мира это весьма четко понимают и в последнее время там получают результативные мероприятия согласно вытеснению ЛН. К примеру, в ноябре 2008 г. произошло распоряжение Правительством Украины о том, что включая с 2009 г. абсолютно всех государственных зданиях ЛН обязаны быть заменены на наиболее энергоэффективные.

Сначала 2009 г. в Англии с реализации пропали ЛН мощностью 150, 100, 75 Вт. Принято решение что уполномоченные специалисты станут проверять торговые центры, жилплощади, контролируя какие лампочки продаются и какие использует жители. Уполномоченные наделены законом изъятия «незаконных» ЛН. Согласно анализам английских специалистов, энергосбережение с подобным решением способен сформировать вплоть до 8 млрд долл. Евросоюз и США установили постановление целиком перейти на энергосберегающие ИС с 2012 г. В США вышло распоряжение подписанное президентом, о том что с 2011 г. исключается изготовления и использования ЛН мощностью 100 Вт, в 2012 г. – 75 Вт и таким образом вплоть до 2014 г., ЛН должны быть целиком устранены. Это очевидно и бесспорно, потому что в случае если бы все без исключения общество и государства переключились в применение КЛЛ, в таком случае возможно существовало бы сэкономить такое количество электроэнергии, какое употребляет вся Австралия за 4 года.

В Российской Федерации указ о энергосбережении (№ 261 ФЗ с 23 ноября 2009 г., ст.10, п. 8) вышел с 1 января 2011 г. и внедряет запрещение в применение ЛН мощностью 100 Вт и наиболее. А с 1 января 2013 года введён запрещение на ЛН мощностью 75 Вт и наиболее, с 1 января 2014 года – ЛН мощностью 25 Вт и наиболее.

### **1.3. Критерии оценки энергоэффективности осветительной установки**

Эффективность освещения оценивается расходом электроэнергии на освещение 1 м<sup>2</sup> площади помещений. Критерием оценки эффективности энергосбережения в области освещения в общем случае служат соотношение затрат на модернизацию ОУ и отделку помещений и стоимость сэкономленной электрической энергии. Одним из важных критериев энергетической эффективности является мощность, затрачиваемая на освещение 1 м<sup>2</sup> поверхности, отнесённая к 100 лк при КПД светильника 100 % и коэффициента запаса 1,5. Максимально допустимые значения приведены в МГСН 2.01–99.

Для общего искусственного освещения помещений следует использовать, как правило, разрядные ИС, отдавая предпочтение ИС с наибольшими световой отдачей и сроком службы. При выборе типа и мощности ИС следует также учитывать требования к цветопередаче и в равномерности распределения освещённости в помещении согласно СНиП 23-05–95.

Удельные установленные мощности общего искусственного освещения должны быть не выше максимально допустимых значений, установленных МГСН 2.06 – 97.

В установках искусственного освещения следует, как правило, использовать светильники с ЭПРА.

Коэффициент полезного действия применяемых светильников должен соответствовать ГОСТ 8607–82 и ГОСТ 15597–82.

Коэффициент мощности  $\cos \varphi$  в ОУ с разрядными ИС должен быть не менее 0,92 и обеспечиваться индивидуальной либо групповой компенсацией мощности.

На искусственное освещение в нашей стране расходуется около 14 % вырабатываемой электроэнергии, что в 2010 г. составило не менее 100 млрд кВт/ч. Бережное с наибольшим экономическим эффектом расходование такого значительного количества энергии является большой и важной народнохозяйственной задачей. Экономия электроэнергии на освещение не должна достигаться за счёт отключения части ОУ или отказа от использования освещения при недостаточном уровне естественного света, поскольку уменьшение освещённости приводит к ухудшению психофизиологического состояния людей, повышению травматизма, снижению производительности труда и качества продукции. Потери от ухудшения условий освещения значительно превышают стоимость сэкономленной электроэнергии.

#### **Основные рекомендации и мероприятия по экономному и рациональному использованию электроэнергии в ОУ:**

1. Использование АСУ освещением с датчиками освещённости и присутствия. Одно только это мероприятие может дать экономию электроэнергии до 50 %.

2. Применение современных ИС с высокой световой отдачей (ЛЛ в колбах диаметром 16 мм, КЛЛ, СИД, НЛВД, МГЛ с керамическими горелками). Расход электроэнергии сокращается при замене ЛН на ЛЛ до 80 %, на МГЛ до 75 % и на НЛВД до 90 %.

3. Замена электромагнитных балластов на ЭПРА, особенно для ЛЛ. Такая замена позволит экономить 10-20 % электроэнергии.

4. Использование РЛ возможно большей мощности при соблюдении нормативных требований к качеству освещения (к ослеплённости, отражённой блёскости, пульсации освещённости).

5. применение НЛВД в производственных помещениях, в которых не предъявляются жёсткие требования к цветопередаче.



6. Использование системы освещения, наиболее рациональной для данных условий работы. В помещениях, где выполняются зрительные работы I разряда, следует применять систему комбинированного освещения, для разрядов II-IV при наличии технико-экономических обоснований допускается система общего освещения. Комбинированное освещение целесообразно применять: для зрительных работ II разряда, когда площадь на одного работающего в помещении составляет в среднем 3 м<sup>2</sup> и более; для III разряда, когда площадь на одного работающего – 5 м<sup>2</sup> и более, а для IV разряда – 10 м<sup>2</sup> и более.

Применение локализованного размещения ОУ общего освещения при системе общего освещения в помещениях с несимметричным расположением технологического оборудования и малой плотностью его размещения, а также при выполнении в помещении зрительных работ различной точности.

7. Выбор СП с наиболее целесообразным светораспределением и размещение СП при наивыгоднейших соотношениях расстояния между ними и высоты установки.

8. Выбор для помещений с тяжёлыми условиями среды СП соответствующего конструктивного исполнения, использование которого позволяет уменьшать значение коэффициента запаса на 0,2.

9. Применение комплексных осветительных устройств со щелевыми световодами для освещения помещений с тяжёлыми условиями среды (взрывоопасных, пыльных и т.п.), относящихся по точности зрительных работ к III-VI разрядам, а также при трудном доступе к ОУ. Это может дать экономию электроэнергии 10-15% по сравнению с освещением СП для тяжёлых условий среды.

10. В производственных зданиях с комбинированным и боковым (боковым и верхним) естественным светом и в помещениях общественных зданий должно быть предусмотрено отключение рядов СП, параллельных окнам, что позволяет снизить расход электроэнергии на 5-10 %; в помещениях с совмещённым освещением рекомендуется проводить включение и

выключение отдельных групп СП в зависимости от уровня освещённости, создаваемого естественным светом в различных зонах помещения. Эта мера даёт экономично электроэнергии 10-20%. Для наружного освещения промышленных предприятий, городов и населённых пунктов и для внутреннего освещения больших производственных помещений целесообразно устройство централизованного автоматического управления, что даёт экономию электроэнергии в размере 10-15%.

11. Питание напряжением 660/380 В (система с глухим заземлением нейтрали) ОУ большой мощности без промежуточной трансформации, включая специально предназначенные для этого ОУ на фазное напряжение 380 В. Питание ОУ напряжением 660/380 В может дать экономию электроэнергии до 12 % благодаря увеличению световой отдачи ИС и уменьшению потерь в сети и ПРА.

12. Применение в ОУ, в которых мощность РЛВД значительна (сотни киловатт и более), групповых трёхфазных компенсирующих конденсаторов, которые снижают потери электроэнергии и сокращают потребность в кабелях, проводах, коммутационных и защитных аппаратах для осветительных сетей.

13. Использование устройств и приспособлений для удобного и безопасного доступа к ОУ для их очистки в процессе эксплуатации. На стадии проектирования следует также определять штаты персонала, необходимого для обслуживания освещения.

14. Чистка остеклений окон и световых фонарей в производственных и общественных зданиях не реже 2 раз в год, что позволит сокращать время работы искусственного освещения и даст экономию электроэнергии в среднем 5-10 %.

15. Повышение коэффициента использования естественного и искусственного освещения путём использования при окраске помещений производственных и общественных зданий светлых тонов.

16. Реконструкция старых ОУ, не отвечающих современным требованиям к искусственному освещению. [15]

#### **1.4. Вывод по главе**

Эффективность осветительных установках зависит прежде всего от:

- светотехнических и энергетических параметров ОП;
- световой отдачи источников света и их срока службы;
- стабильности на протяжении эксплуатации параметров светильников и, в частности, характеристик источника света при работе в светильниках;
- тарифов на ЭЭ;
- числа часов использования осветительной установки в год.

Наряду с этим, немаловажное значение имеет стоимость светильников и ламп, а также стоимость на обслуживания и монтажа.

Также очевидна необходимость при решении проблемы энергосбережения рассмотреть технические характеристики, масштабы использования, эффективность применения и структуру производства различных групп: осветительных приборов; источников света; пускорегулирующей аппаратуры; систем, сокращающих время использования искусственного освещения (в том числе, естественного освещения; автоматического управления временем и интенсивностью работы ОУ, а также систем, позволяющих использовать в ОУ электроэнергию, вырабатываемую путем преобразования солнечной энергии).

Вместе с тем, важное значение имеют энергосберегающие способы освещения и современные методы и режимы эксплуатации ОУ. Отдельного рассмотрения требует возможность снижения энергопотребления в ОУ за счет существенного улучшения качества освещения. Важнейшей задачей является законодательное закрепление энергосберегающих требований к светотехническим изделиям и установкам в стандартах, нормах и правилах, а также выработка и реализация экономических мер стимулирования энергосбережения в ОУ.

## **2. Энергоаудит в осветительных установках**

В настоящее время в стране на освещение используется приблизительно 13% всей вырабатываемой электроэнергии, то что является примерно 108 миллиардов. кВт\*ч. в год. Свыше 65% употребляют осветительные установки (ОУ) промышленных компаний и общественных зданий. Практически вся данная электричество используется мало продуктивно – применяются устаревшие неэкономичные источники освещения и светильники, никак не уделяется надлежащего внимания подбору систем освещения, размещению светильников, проблемам регулировки и эксплуатации освещения.

В большинстве объектов не имеется сведения о осветительных приборах: количестве светильников, мощности ламп, их виде, количестве расфазировки, свойствах электрического питания, количестве часов применения в год, сроках и способах чистки и т.д. В многочисленных случаях это считается результатом недооценки важности освещения.

Несмотря на довольно огромное число опубликованных изданий, посвящённых экономии электричества, очевиден недостаток специализированных методических документов, осматривающих проблемы энергоэффективности в ансамбле, с позиций маркетинга, т.е. далеко не только лишь технических нюансов энергосбережения, но и профессиональных, организационных, экономических и информационных.

Важной составляющей системы энергетического менеджмента является энергоаудит – отправная точка развития программы повышения энергоэффективности любого предприятия. Он позволяет проанализировать использование энергетических ресурсов предприятий, их стоимость, выявить места нерационального использования ресурсов, разработать программу энергосберегающих мероприятий.

Значимым элементом концепции энергетического маркетинга является энергоаудит – начальная место формирования проектов увеличения энергоэффективности различного предприятия. Он дает возможность рассмотреть применение энергетических ресурсов предприятий, их цену,

обнаружить зоны неразумного применения ресурсов, выработать проект энергосберегающих мероприятий.

Энергоаудит (ЭА) – это обследование предприятий, организаций и отдельных производств по их инициативе с целью определения возможностей экономии потребляемой энергии и помощи предприятию в осуществлении экономии на практике путем внедрения механизмов энергетической эффективности, а также с целью внедрения на предприятии системы энергетического менеджмента.

Энергоаудит предприятия – это самая сложное исследование с целью установить структуру и высоко эффективность энергетических расходов предприятия, отыскать его более энергозатратные участки, выяснить факторы потерь и создать направления согласно их устранению. Энергоаудит может рассматриваться как специальный тип услуг, а кроме того как подготовительная стадия плана модернизации производства.

Энергетическое обследование – обследование покупателей ТЭР с целью определения характеристик производительности их применения и формирования экономически аргументированных мер согласно их увеличению.

Предмет энергетического аудита представляет собой систему обследования и пользования энергии и горючего, анализа и выдачи рекомендаций по применению энергоресурсов.

Главной целью энергетического аудита является поиск перспектив энергосбережения и помощь субъектам хозяйствования в определении направлений энергоэффективного использования.

Объектом энергетического аудита может быть любое здание, энергетическая установка, предприятия, агрегаты, потребляющий или вырабатывающий энергию.

Назначением энергетического аудита является решение следующих задач:

- составление карты использования объектом топливно-энергетических ресурсов;

- разработка технических мероприятий и организационных, направленных на снижение потерь энергии;
- определение потенциала энергосбережения;
- финансовая оценка энергосберегающих мероприятий.

Цель энергетического обследования и энергоаудита: определение эффективности использования электрической энергии, оценка потенциала предприятий, разработки эффективных схем и мероприятий рационального и эффективного использования энергетических ресурсов.

Основные задачи энергоаудита:

- выявление источников и причин нерациональных энергозатрат и неоправданных потерь энергии;
- разработка на основе технико-экономического анализа рекомендаций по их ликвидации;
- предложение технико-экономически обоснованной программы по экономии энергоресурсов и рациональному энергопользованию, очередности реализации предлагаемых мероприятий с учётом объёмов затрат и сроков окупаемости при обеспечении требуемого уровня услуг.

## **2.1. Основные этапы проведения энергетического аудита.**

В общем случае энергоресурсоаудит объектов связи состоит из сбора информации о системах энергоресурсоснабжения, анализа режимов энергопотребления, анализа режимов эксплуатации оборудования и систем, обследование состояния энергоресурсораспределения: системы электроснабжения, состоящей из трансформаторных подстанций, распределительных сетей, электрооборудования, системы освещения, систем телекоммуникаций и т.д.

Энергетический аудит можно разбить на три уровня:

Предварительный аудит, цель которого – оценить необходимость проведения энергетических обследований;

Энергоаудит первого уровня, цель – определение потенциала энергосбережения, выявление участков нерационального и расточительного расхода электроэнергии и доказательство руководству предприятия целесообразности проведения углублённого энергетического обследования;

Энергоаудит второго уровня, имеющий целью углублённое энергетическое обследование и выдачу рекомендаций по внедрению энергосберегающих мероприятий.

Предварительно составляется программа энергоаудита, для чего собирают основные характеристики обследуемого предприятия:

- общие сведения, организационная структура;
- схема и состав основных потребителей (зданий) по видам энергоресурсов;
- установленные мощности подразделений, ассортимент выпускаемой или продаваемой продукции (электроэнергии, горячей воды и т.п.);
- цены (тарифы) на энергоресурсы.

## **2.2. Методология светотехнического аудита**

1-ый этап. Ознакомление с осветительной установкой предприятия, сбор и анализ всей информации по источникам света (ИС), светильникам, пускорегулирующим аппаратам и электроустановочным изделиям (ПРА и ЭУИ), системам и способам освещения, значениям освещённости, организации эксплуатации и способам обслуживания.

2-ой этап. Оценка эффективности осветительной установки по удельным энергетическим показателям.

3-ий этап. Разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности осветительной установки.

4-ый этап. Экспертиза разработанных предложений. [14]

**Общие положения:**

1.2. Указания составлена с использованием СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение» (с изменением № 1 от 29.05.2003); МГСН 2.06-99 «Естественное, искусственное и совмещённое освещение»; МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях»; ГОСТ 24940-96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещённости»; «Правил устройства электроустановок (ПУЭ, издание седьмое); «Правил эксплуатации электроустановок потребителей (1992 г.).

#### **Порядок проведения энергоаудита:**

Обследование действующей ОУ начинается с определения ее эксплуатационного состояния, характеризуемого:

- количеством негорящих ламп;
- степенью загрязнённости светильников;
- состоянием окраски стен, потолков, оборудования, а также наличием средств доступа к светильникам, графика обслуживания ОУ, выполнением планов планово-предупредительных ремонтов (ППР), обеспечивающих нормальную эксплуатацию установки.

Далее производятся измерения или расчёты количественных и качественных характеристик освещения:

- освещённости на плоскости и цилиндрической освещённости в контрольных точках согласно ГОСТ 24940-96;
- коэффициента пульсации освещённости;
- показателя ослепленности (в производственных помещениях);
- показателя дискомфорта (в помещениях общественных зданий).

При проведении обследования следует производить опрос работающих для выявления жалоб на неудовлетворительное состояние освещения. Особое внимание при этом следует уделять рабочим местам, на которых производятся точные зрительные работы, в т.ч. с блестящими поверхностями, компьютером и т.п.



### **2.2.1. Аппаратура**

Для измерения освещённости следует использовать люкметры с измерительным преобразователями излучения, имеющими спектральную погрешность не более 10%, определяемую как интегральное отклонение относительной кривой спектральной чувствительности измерительного преобразователя излучения от кривой относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения  $V(\lambda)$  по ГОСТ 8.332.

Допускается использовать для измерения освещённости люкметры, имеющие спектральную погрешность более 10 %, при условии введения поправочного коэффициента на спектральный состав применяемых источников света, определяемого по ГОСТ 17616.

Люкметры должны иметь свидетельства о метрологической аттестации и проверке. Аттестация люкметров проводится в соответствии с ГОСТ 8.326, а проверка – соответствии с ГОСТ 8.014 и ГОСТ 8.023.

Для измерения напряжения в сети следует применять вольтметры класса точности не ниже 1.5 по ГОСТ 8711.

При проведении инструментального обследования для измерения использовалось Люкметр «Эколайт-01».

Диапазон измеряемой освещённости:  $1 \div 70000$  лк;

Диапазон измеряемого коэффициента пульсации:  $1 \div 100\%$ .

### **2.2.2. Подготовка к измерениям**

1. Перед измерением освещённости от искусственного освещения следует провести замену всех перегоревших ламп и чистку светильников. Измерение освещённости может также производиться без предварительной подготовки осветительной установки, что должно быть зафиксировано при оформлении результатов измерения.

2. Измерение КЕО проводят в помещениях, свободных от мебели и оборудования, не затеняемых озеленением и деревьями, при вымытых и

исправных светопрозрачных заполнениях в светопроемах. Измерение КЕО может также производиться при наличии мебели, затенении деревьями и неисправных или невымытых светопрозрачных заполнениях, что должно быть зафиксировано при оформлении результатов измерений.

3. Для измерения КЕО выбирают дни со сплошной равномерной десятибалльной облачностью, покрывающей весь небосвод. В районах, расположенных южнее  $48^{\circ}$  с.ш., измерения КЕО допускается проводить без учёта балльности в дни сплошной облачности, покрывающей весь небосвод. Электрический свет в помещениях на период измерений выключается.

4. Перед измерениями выбирают и наносят контрольные точки для измерения освещённости на план помещения, сооружения или освещаемого участка (или исполнительный чертёж осветительной установки) с указанием размещения светильников.

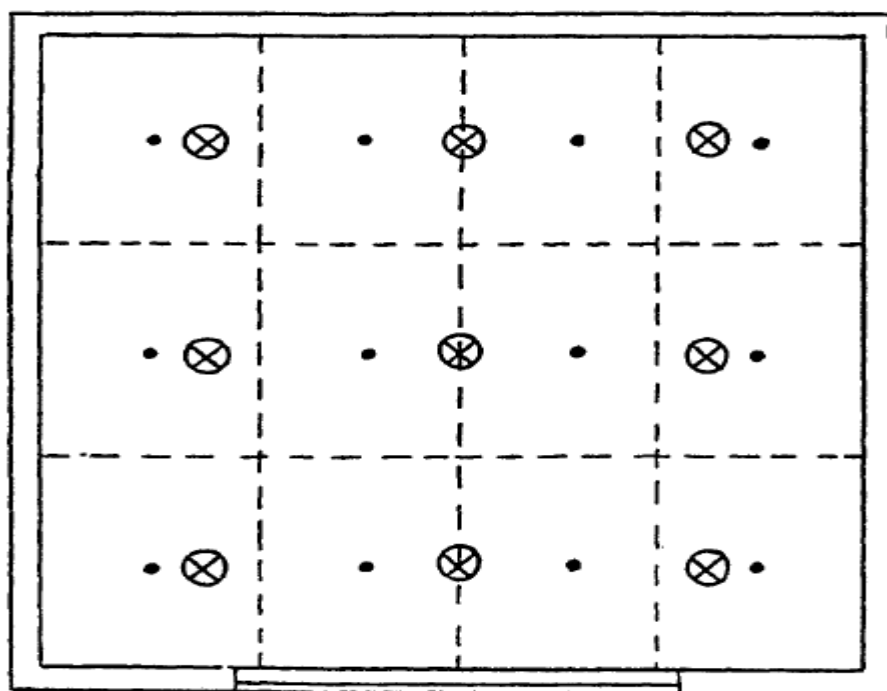
• **Размещение контрольных точек при измерении минимальной освещённости помещений:**

1. Контрольные точки для измерения минимальной освещённости от рабочего освещения размещают в центре помещения, под светильниками, между светильниками и их рядами, у стен на расстоянии  $0,15-0,25l$ , но не менее 1 м, где  $l$  – расстояние между рядами светильников.

2. Контрольные точки для измерения освещённости от аварийного освещения следует размещать на рабочих местах в соответствии с нормами аварийного освещения.

3. Контрольные точки для измерения минимальной освещённости от эвакуационного освещения следует размещать на полу по пути эвакуации людей из помещения.

Примеры расположения контрольных точек для измерения освещённости в помещениях производственных и общественных зданий при использовании для освещения светильников с точечными и линейными источниками света приведён на рисунке 2.1.



• — контрольная точка; ⊗ — светильник;  
 -|- — условная сетка раздела площади помещения на равные части

Рисунок 2.1 – Расположение контрольных точек [14]

• **Размещение контрольных точек при измерении средней освещённости помещений:**

Для определения контрольных точек план помещения разбивают на равные, по возможности квадратные, части. Контрольные точки размещают в центре каждого квадрата. Минимальное число контрольных точек для измерения определяют исходя из размеров помещения и высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью. Для этого рассчитывают индекс помещения  $i$  по формуле:

$$i' = \frac{ab}{h_0(ab)} \quad (2.1)$$

где  $a$  – ширина помещения, м;

$b$  – длина помещения, м;

$h_0$  – высота подвеса светильников, м.

Минимальное количество контрольных точек  $N$  для измерения средней освещённости квадратного помещения определяют по таблице 2.1.[14]

Таблица 2.1 – Количество контрольных точек

Индекс помещения $i'$	Число точек измерения
Менее 1	4
От 1 до 2 включ.	9
Св. 2 до 3 включ.	16
Св. 3	25

- **Размещение контрольных точек при измерении цилиндрической освещённости помещений**

1. Контрольные точки для измерения цилиндрической освещённости следует размещать равномерно по помещению под светильниками, между светильниками и на центральной продольной оси помещения на высоте 1,5 над полом и на расстоянии не менее 1,0 м от стены.

2. Число контрольных точек для измерения цилиндрической освещённости должно быть не менее 5.

- **Размещение контрольных точек при измерении естественной освещённости помещений**

1. Контрольные точки размещают на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первую и последнюю точки принимают на расстоянии 1 м от поверхности наружных стен и внутренних перегородок (или оси колонн).

2. Число контрольных точек должно быть не менее 5. В число контрольных точек должна входить точка, в которой нормируется освещённость согласно действующим нормам.

### 2.2.3. Проведение измерений

- **Измерение освещённости от искусственного освещения**

1. Измерение освещённости при рабочем и аварийном освещении следует производить в тёмное время суток, когда отношение естественной освещённости к искусственной составляет не более 0,1, измерение освещённости при эвакуационном освещении – когда значение естественной освещённости не превышает 01, лк.

2. В начале и в конце измерений следует измерить напряжение на щитках распределительных сетей освещения. результаты измерений заносят в протоколы.

3. При измерениях освещённости необходимо соблюдать следующие требования:

- на измерительной фотометрический датчик не должна падать тень от человека;

- измерительный прибор не должен располагаться вблизи сильных магнитных полей.

4. Освещённость на рабочем месте определяют прямыми измерениями в плоскости, указанной в нормах освещённости, или на рабочей плоскости оборудования.

При комбинированном освещении рабочих мест освещённость измеряют сначала от светильников общего освещения, затем включают светильники местного освещения в их рабочем положении и измеряют суммарную освещённость от светильников общего и местного освещения.

5. Для определения цилиндрической освещённости в каждой контрольной точке проводят четыре измерения вертикальной освещённости во взаимно перпендикулярных плоскостях.[14]

- **Измерение коэффициента естественной освещённости**

1. При определении коэффициента естественной освещённости проводят одновременные измерения освещённости в контрольных точках внутри помещений  $E_{вн}$  и наружной освещённости  $E_{нар}$  на горизонтальной

площадке, освещаемой всем светом небосвода (например, снаружи на кровле здания или на другом возвышенном месте).

2. Результаты измерений заносятся в протокол.

#### **2.2.4. Обработка результатов измерений**

##### **• Определение параметров искусственного освещения**

1. Минимальную освещённость в освещённых и вне зданий определяют как минимальные измеренные значения освещённости из последовательности их значений в контрольных точках по формуле:

$$E_{\min} = \min\{E_i\} \quad (2.2)$$

где  $E_i$  – измеренные значения освещённости в контрольных точках.

2. Среднюю освещённость в помещениях определяют как среднеарифметическое значение измеренных освещённостей в контрольных точках помещения по формуле:

$$E_{\text{cp}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i \quad (2.3)$$

где  $E_i$  – измеренные значения освещённости в контрольных точках помещения, лк;

$N$  – число точек измерения. [14]

3. Среднюю освещённость улиц, дорог, площадей и тоннелей определяют как среднеарифметическое значение измеренных освещённостей  $E_i$  в контрольных точках дорожного покрытия по формуле 2.3.

4. Цилиндрическую освещённость  $E_{\text{ц}}$  в контрольной точке определяют как среднеарифметическое значение освещённостей, измеренных в четырёх взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях, по формуле

$$E_{\text{cp}} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{i=4} E_{\text{vi}} \quad (2.4)$$

где  $E_{vi}$  – измеренные значения освещённости во взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях, лк;

5. При отклонении напряжения сети от номинального более чем на 5 % фактического значение освещённости уточняют по формуле:

$$E_{\phi} = E \frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} - K (U_{\text{ном}} - U_{\text{ср}})} \quad (2.5)$$

где  $E$  – минимальная, средняя или цилиндрическая освещённости;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение сети, В;

$K$  – коэффициент, равный 4 для ламп накаливания (в том числе галогенных), 3 – для индуктивного балластного сопротивления и для ламп ДРЛ, 1 – для люминесцентных ламп при использовании ёмкостного балластного сопротивления;

$U_{\text{ср}}$  – среднее значение напряжения, определяемые по формуле:

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_1 - U_2}{2} \quad (2.6)$$

где  $U_1$  – напряжение сети в начале измерения, В;

$U_2$  – напряжение сети в конце измерения, В.

- **Определение параметров естественного освещения**

Коэффициент естественной освещённости  $e$ , %, определяют по формуле:

$$e = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} * 100 \quad (2.7)$$

где,  $E_{\text{вн}}$  – значение естественной освещённости внутри помещения, лк;

$E_{\text{нар}}$  – значение естественной освещённости вне помещения, лк.

Результаты энергетического обследования заполняются в протокол Приложения Б.

### **2.3. Требования к освещению библиотеки**

При проектировании освещения библиотек и архивов необходимо учитывать специфику их помещений, назначение, характер зрительной работы, а также вопросы защиты документов от разрушающего действия света. В таблице 2.2 приведён перечень основных помещений библиотек и архивов с рекомендуемыми значениями количественных и качественных показателей освещения.

Зрительная работа в основных помещениях библиотек и архивов связана с чтением книг, журналов, газет, документов, длительной работой дисплеями ПК, просмотром микрофильмов, диапозитивов, поиском необходимой литературы в компьютерных базах данных и в картотеках, а также с работой обслуживающего персонала в хранилищах.

Для освещения помещений, предназначенных для работы читателей, рекомендуется применять систему общего освещения. При этом в читальных залах предусматривается не менее 10 % мест, оборудованных местным освещением. Кроме того, устанавливаются розетки для подключения светопроекционной и звуковоспроизводящей аппаратуры.

Для помещений хранилищ с крупным стационарным оборудованием помимо освещения проходов предусматривается локализованное освещение.

В помещениях для читателей должны использоваться ОП с ЛЛ и ЭПРА, преимущественно ЛЛ типа Т5.

При установке неподвижных стеллажей и шкафов могут быть рекомендованы следующие приёмы освещения:

- 1) осветительными приборами с ЛЛ с зеркальными отражателями с несимметричным светораспределением, установленными на потолке в межстеллажном пространстве.

- 2) Осветительными приборами с металлическими экранирующими решётками, установленными непосредственно на стеллажах на кронштейнах, либо ОП с ЛН.



В помещениях с ПК при проектировании ОУ необходимо руководствоваться правилами.

В некоторых архивах применяются передвижные стеллажи, перемещаемые при необходимости по направляющим, либо автоматизированные хранилища. В этом случае освещение выполняется ОП, установленными равномерно на потолке над стеллажами. Осветительные приборы для пожароопасных помещений класса П-Па, к которым относятся хранилища, могут быть в любом исполнении, но конструкция их должна исключать выпадение ИС, а ПРА должны располагаться в негорючей полости или в другом помещении.

В помещениях со свободным доступом читателей к книгам шкафы или стеллажи размещаются более свободно, чем в хранилищах. В этих помещениях необходимая освещённость может быть обеспечена системой общего равномерного освещения. В помещениях архивов, где читатели и обслуживающий персонал работают с ценными документами, в целях исключения разрушающего действия УФ-излучения следует использовать.

Источники света по степени возрастания разрушающего действия на документы располагаются в следующей последовательности: ЛН, ЛЛ тепло-белого света де-люкс, ЛЛ с трёхполосным спектром излучения, стандартные ЛЛ белого света, ЛЛ белого света де-люкс, дневной свет, проходящий через оконное стекло.

Для освещения помещений библиотек и архивов предусматривают два вида освещения: рабочее и ЭО, которое устраивается по основным проходам, коридорам, в метрах пребывания читателей и хранилищах. Пути эвакуации обозначаются световыми указателями с надписью «Выход» или знаком, указывающим направление эвакуации.

По степени обеспечения надёжности электроснабжения электроустановки зданий библиотек и архивов относятся к следующим категориям: библиотек более 100 тыс. единиц хранения и архивов государства, автономных республик, областных, городских, а также филиалов этих архивов

– ко второй категории; библиотек менее 100 тыс. единиц хранения и районных архивов – к третьей категории. Устройства противопожарной защиты во всех случаях относятся к первой категории.

Управление освещением читальных залов осуществляется централизованно с групповых щитков.

В хранилищах выключатели для управления освещением в проходах устанавливаются вне помещений, в межстеллажном пространстве – на стеллажах.

Рекомендуется обеспечивать возможность отдельного управления освещением помещений с естественным светом и без него. Кроме того, в помещениях с естественным светом, например в читальных залах, управление освещением целесообразно осуществлять по участкам с различным удалением от окон, применяя систему автоматического включения (отключения) линий в зависимости от уровня естественной освещённости.

Таблица 2.2 – Нормы освещённости и нормируемые качественные показатели основных помещений библиотек и архивов [1]

Помещения	Плоскость, для которой нормируется освещённость (Г-гор., В-вер.), ее высота над полом, м	Освещённость рабочей поверхности, лк	Цилиндрическая освещённость, лк	Показатель дискомфорта не более	Коэффициент пульсации, % не более
Библиотеки					
Читальные залы	Г, 0,8	400*	150* <sup>4</sup>	40	15
Специализированный отдел**	Г, 0,8	400*	150* <sup>4</sup>	40	15
Лекционный зал-аудитория	Г, 0,8	300* <sup>5</sup>		40	10
Книгохранилище	В,1,0(настеллаже)	75		60	
Место дежурного библиотекаря	Г, 0,8	30		60	
Фонд открытого доступа	В,1,0(настеллаже)	300*		40	15

Отдел записей и регистрации читателей	Г, 0,8	75		60	
Помещение читательских каталогов, фонотека	В(фронт карточек)	200 200*		40	15
Аванзал	Г, 0,8			40	
Помещение тематической выставки и показа новых поступлений	Г, 0,8			40	15
Комната группового прослушивания записей	Г, 0,8	200	75* <sup>4</sup>	60	15
Отдел комплектации, технической и научной обработки и межбиблиотечный абонемент	Г, 0,8	200* <sup>5</sup> 300		60 40	
Служебный каталог	В(фронт карточек)	200		40	15
Помещения для приемки и распоковки литературы	Г, 0,8	150		40	10
Архивы					
Хранилище документов	В,1,0(на стеллаже)	50		60	
Помещение временного хранения документов	Г, 0,8	75		60	
Помещение хранения учетных документов	В(фронт карточек)	50 75		60 60	
Помещение при читальном зале для временного хранения документов, выдаваемых в читальный зал	В,1,0(на стеллаже)	75 50		60 60	
Помещение хранения служебных каталогов и описей	В(фронт карточек)	75 75		60 60	
Помещение хранения фотодокументов и микрофильмов	В,1,0(на стеллаже)	50 75		60	
Читальный зал для работы с документами	Г, 0,8	300 300	75 100* <sup>4</sup>	60 60	10

Помещение обеспыливания документов	Г, 0,8	300 100** 150**	100	60 60 60	
Помещение дезинфекции и дезинсекции документов	В (на стеллаже)	100**		60	
Помещение реставрации	Г, 0,8	150* <sup>8</sup>		60	
Помещение электрорепродукционной	Г, 0,8	200 300 200* <sup>10</sup>		60 60 60	20 10

\* Для дополнительного местного освещения следует предусматривать установку розеток (за исключением детских библиотек)

\*\*Отделы иностранной литературы, искусств с секторами нотно-музыкальным и изографики, справочно-библиографический с сектором краеведения, технической литературы с сектором патентов, периодической печати, научно-исторический.

\*4 В случаях, когда по условиям архитектурно-художественного оформления необходимо обеспечить впечатление насыщенного помещения светом.

\*5 Для подключения проекторов или звуковоспроизводящей аппаратуры требуется установка розеток.

\*6 Рекомендуется устройство местного освещения над барьером.

\*7 Допускается в виде исключения для архивов автономных республик, областных, городских и районных.

\*8 При светотехнических расчётах следует принимать коэффициент запаса равным 1,8 для ОП с ЛЛ и 1,5 для ОП с ЛН.

\*9 Для помещений выше 4 м.

\*10 Для переносных ОП необходимо предусматривать установку штепсельных розеток на напряжение 42 В.

## **2.4. Вывод по главе**

Энергетический аудит (энергоаудит) – сбор, обработка и анализ данных об использовании энергетических ресурсов в целях оценки возможности и потенциала энергосбережения и подготовки заключения.

Задачи энергоаудита:

- выявить источники нерациональных энергетических затрат и неоправданных потерь энергии;
- разработать на основе технико-экономического анализа рекомендации по энергосбережению и повышению энергоэффективности.

По результатам энергоаудита составляется заключение по энергосбережению и повышению энергоэффективности. В результате энергоаудита:

- даётся оценка эффективности использования ТЭР;
- раскрываются причины выявленных нарушений и недостатков;
- определяются резервы экономии ТЭР.

Таким образом, энергоаудит необходим в том случае, если учреждения приняло для себя курс на снижение затрат на энергоресурсы, повышения качества производимой продукции, и повышения уровня энергетической безопасности предприятия.

### 3. Метод измерения и определения цветовой температуры и индекса цветопередачи

#### 3.1. Термины и определения

В разделе применены термины и обозначения по ГОСТ 7601, ГОСТ 26148, а также следующие термины с соответствующими определениями и обозначениями:

**Колориметрия:** Наука о методах измерения и количественного выражения цвета.

**Коррелированная цветовая температура:** Температура излучателя Планка, воспринимаемый цвет которого наиболее близко характеризует данное цветное излучение при той же светлоте и тех же светлоте и тех же стандартных условиях наблюдения.

**Равноконтрастное цветное пространство в МКО 1964:** Цветное пространство, получаемое построением ортогональных осей координат значения которых определяют по формулам:

$$W^* = 25Y^{1/3} - 17 \quad (3.1)$$

$$U^* = 13W^*(u - u_0) \quad (3.2)$$

$$V^* = 13W^*(v - v_0) \quad (3.3)$$

$$1 \leq Y \leq 100 \quad (3.4)$$

где  $u$ ,  $v$  – координаты равноконтрастного цветного графика МКО 1960 г. [21];  $u_0$ ,  $v_0$  – значения этих переменных для выбранного ахроматического цвета.

**Цветопередача:** Влияние источника излучения на цвет объекта по сравнению с его цветом при освещении эталонным источником излучения, имеющим ту же цветовую температуру.

**Индекс цветопередачи R:** Мера степени отклонения цвета объекта при освещении источником излучения по сравнению с цветом объекта при освещении эталонным источником излучения.

**Специальный индекс цветопередачи Ri:** Индекс цветопередачи *i*-го образца цвета.

**Цветность:** Качественная характеристика цвета, определяемая его координатами цветности.

### **3.2. Требования к условиям проведения измерений и источником излучения**

При выполнении измерений соблюдают следующие условия:

- температура окружающего воздуха –  $(25 \pm 2)$  °С;
- относительная влажность –  $(65 \pm 20)$  %;
- атмосферное давление –  $(101 \pm 4)$  кПа;
- напряжение питающей сети –  $(220 \pm 22)$  В.

Эталонный источник излучения должен соответствовать требованиям ГОСТ 7721 .

Эталонный источник излучения должен иметь данные спектрального распределения энергии излучения в пределах длин волн видимого спектра с интервалом не более 10 nm.

Эталонный и исследуемый источники излучения должны иметь различные цветности  $\Delta C$  не более чем  $5,4 \times 10^{-3}$  [21]

Различие цветности  $\Delta C$  между исследуемым источником излучения  $(u_k, v_k)$  и эталонным источником излучения  $(u_r, v_r)$  согласно [21], может быть рассчитано по формуле:

$$\Delta C = [(u_r - u_k)^2 + (v_k - v_r)^2] \quad (3.5)$$

### **3.3. Требования к образцам цвета**

Для измерений применяют набор из восьми основных и шести дополнительных образцов цвета [22].

Цвета основных и дополнительных образцов представлены в таблице А.1 (Приложение Б).

Основные образцы покрыты краской различной насыщенности и примерно одинаковой яркости. Спектральный коэффициент яркости  $\beta(\lambda)$  восьми основных образцом представлен в таблице Б.1 (Приложение Б).

Цвета дополнительных образцов имеют большие различия в яркости и насыщенности. Спектральный коэффициент яркости  $\beta(\lambda)$  шести дополнительных образцов представлен таблице В.1 (Приложение Г).

Спектральный коэффициент яркости  $\beta(\lambda)$  определяются в геометрии освещения наблюдения 0/45 [22].

### 3.4. Определение цветовой температуры

Расчёт индекса цветопередачи проводят следующим образом:

а) по измеренным значениям спектральной плотности энергетической величины измеряемого ИС рассчитывают его координаты цвета X, Y, Z и далее координат цветности x, y проводят по формулам:

$$X = \int_{380}^{760} p(\lambda)x(\lambda) d\lambda \quad (3.6)$$

$$Y = \int_{380}^{760} p(\lambda)y(\lambda) d\lambda \quad (3.7)$$

$$Z = \int_{380}^{760} p(\lambda)z(\lambda) d\lambda \quad (3.8)$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (3.9)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (3.10)$$

где  $p(\lambda)$  – спектральная плотность энергетической величины ИС. Значение приведены в таблице 3.1.



$x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$  – координаты кривых сложения МКО 1931 г. Приведены в таблице В.1 (Приложение В);

Таблица 3.1 – Спектральная плотность энергетической величины ИС.

№	$\lambda$	$p(\lambda)$	$\lambda$	$p(\lambda)$	$\lambda$	$p(\lambda)$	$\lambda$	$p(\lambda)$
1	380	0,00258083	475	0,0549168	570	0,146585	665	0,0643638
2	385	0,0022496	480	0,0447009	575	0,149071	670	0,0573495
3	390	0,00251156	485	0,0422656	580	0,150074	675	0,0506933
4	395	0,00205353	490	0,0427117	585	0,151388	680	0,0455089
5	400	0,00266777	495	0,0463046	590	0,152346	685	0,0412274
6	405	0,00277872	500	0,0546428	595	0,153143	690	0,0356065
7	410	0,00327373	505	0,0651006	600	0,152633	695	0,0319557
8	415	0,0037306	510	0,0761821	605	0,150288	700	0,0275279
9	420	0,00568478	515	0,0874657	610	0,146758	705	0,0250624
10	425	0,00959431	520	0,0967649	615	0,140109	710	0,0225391
11	430	0,0164228	525	0,10363	620	0,132882	715	0,0193189
12	435	0,0274198	530	0,108419	625	0,124974	720	0,0174288
13	440	0,0479007	535	0,112965	630	0,116295	725	0,0155743
14	445	0,0833163	540	0,118157	635	0,108179	730	0,0144204
15	450	0,13252	545	0,123309	640	0,0995308	735	0,0120191
16	455	0,150209	550	0,129391	645	0,091207	740	0,012269
17	460	0,114054	555	0,135157	650	0,0851315	745	0,0111651
18	465	0,0848865	560	0,140297	655	0,0769747	750	0,00936237
19	470	0,0702391	565	0,144278	660	0,0699307	755	0,0078984
20							760	0,00602746

При расчёте интегрирование заменяют суммированием произведений подынтегральных функций формулы (3.6, 3.7, 3.8)

$$X = \sum_{380}^{760} p(\lambda)x(\lambda)d\lambda \quad (3.11)$$

$$Y = \sum_{380}^{760} p(\lambda)y(\lambda)d\lambda \quad (3.12)$$

$$Z = \sum_{380}^{760} p(\lambda)z(\lambda)d\lambda \quad (3.13)$$

На график цветностей МКО 1937 г с нанесёнными четырёхугольниками допустимых отклонений КЦТ (рисунок 3.1) определяют, в какой из них попадает точка с найденными координатами цветности.

Координаты цвета ИС X, Y, Z:

$$X = 2,6212;$$

$$Y = 2,6098;$$

$$Z = 1,4595.$$

Координаты цветности ИС x y:

$$x_k = 0,3917;$$

$$y_k = 0,39007.$$

Значение КЦТ измеряемого ИС определяют по номинальному значению КЦТ соответствующего четырёхугольника.

Относительная погрешность определения КЦТ не более  $\pm 1,5\%$ .

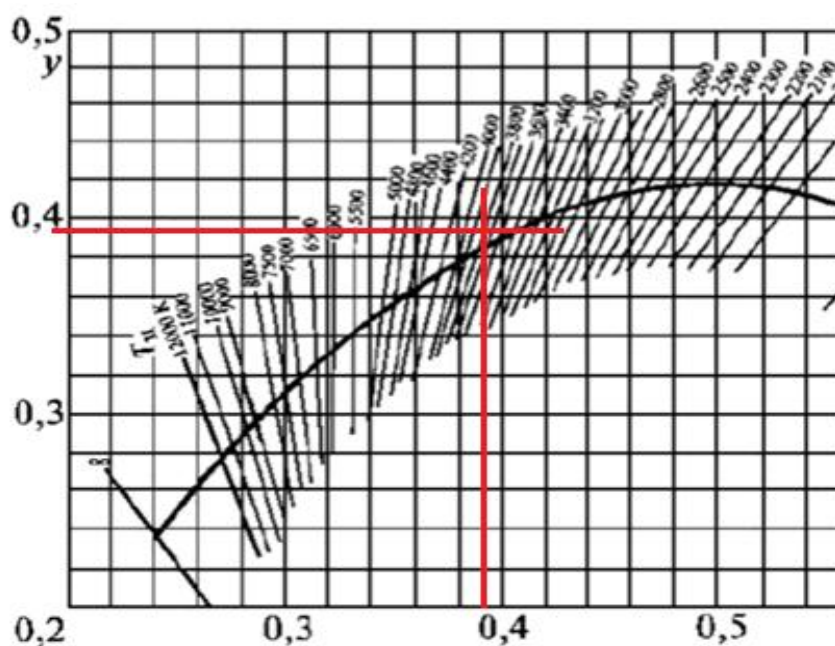


Рисунок 3.1 – График определения цветовой температуры

Таким образом цветовая температура – **3800 К**.

### 3.5. Определение координат цвета образцов

Расчёт индекса цветопередачи проводят следующим образом:

По измеренным значениям спектральной плотности энергетической величины измеряемого ИС рассчитывают его координаты цвета X, Y, Z и координаты цветности x, y по формулам:

$$X = k \int S(\lambda) \beta(\lambda) x(\lambda) d\lambda \quad (3.14)$$

$$Y = k \int S(\lambda) \beta(\lambda) y(\lambda) d\lambda \quad (3.15)$$

$$y = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (3.16)$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (3.17)$$

где  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$  – функция сложения цветов;

$\beta$  – спектральный коэффициент отражения контрольных образцов, который приведен в приложении Б;

k – нормирующий коэффициент, определяемый по формуле

$$k = \frac{100}{\int S(\lambda) y(\lambda) d\lambda} \quad (3.18)$$

По расчётам нормирующий коэффициент равен  $k = 38,3163$

Таблица 3.2 – Координаты цвета контрольных образцов при освещении их измеряемым ИС

№	X	Y	Z
1	36,576279671	31,467722070	12,460208540
2	31,185617700	30,231018323	7,706841739
3	27,257554475	31,342747566	5,078720718
4	21,851359865	28,039874911	10,997665743

5	25,027873663	29,054881740	20,941249328
6	26,449532619	27,370191885	30,073738449
7	32,848940813	28,820502788	27,073106133
8	38,408824224	31,490031683	23,036717832

### 3.6. Преобразование координат X, Y, Z и x, y в координаты u, v

Координаты X, Y, Z и x, y должны быть преобразованы в координаты u, v равноконтрастного цветового графика МКО 1960 г. по формулам:

$$u = 4X / (X + 15Y + 3Z) \quad (3.19)$$

$$v = 6Y / (X + 15Y + 3Z) \quad (3.20)$$

Таблица 3.3 – Преобразованные координаты u, v

Контрольные образцы	U	v
1	0,267971474	0,345816411
2	0,245666586	0,357220008
3	0,212685893	0,366842902
4	0,183840197	0,353858261
5	0,191171096	0,332896054
6	0,200670314	0,311482914
7	0,240486059	0,316490987
8	0,264948078	0,325832287

### 3.7. Учет цветового смещения

Координаты цвета с учетом цветового смещения  $U_{k,i}$  и  $V_{k,i}$ , получаемого вследствие разницы между исследуемым и эталонным излучателями, в результате различной цветовой адаптации при освещении исследуемым и эталонным излучателями по формулам:

ГОСТ Р 8.827 – 2013

$$U_{k,i} = \frac{10.872 + 0.404 \frac{C_r}{C_k} C_{k,i} - 4 \frac{d_r}{d_k} d_{k,i}}{16.518 + 1.481 \frac{C_r}{C_k} C_{k,i} - \frac{d_r}{d_k} d_{k,i}} \quad (3.21)$$

$$V_{k,i} = \frac{5.520}{16.518 + 1.481 \frac{C_r}{C_k} C_{k,i} - \frac{d_r}{d_k} d_{k,i}} \quad (3.22)$$

где  $i$  – номер образца цвета, функции  $c$  и  $d$  рассчитывают для исследуемого источника излучения и для образцов цвета, освещаемых этим источником излучения, по формулам:

$$c = \frac{1}{v} (4 - u - 10v) \quad (3.23)$$

$$d = \frac{1}{v} (1.708v + 0.404 - 1.48lu) \quad (3.24)$$

Таким образом,  $U_k = U_r$  и  $V_k = V_r$ .

Таблица 3.4 – Значения  $c$  и  $d$  для восьми контрольных цветов

$C_k$	$d_k$
0,791935845	1,728630159
0,509863191	1,820445509
0,324076293	1,9506439
0,784430443	2,080275237
1,441496098	2,071103152
2,197554082	2,050899275
1,878739336	1,859158005
1,46311176	1,74363765

Значения  $c_r$ ,  $d_r$ ,  $u_r$ ,  $v_r$  взяты из таблицы Е4 для цветовой температуры 4000 К (ГОСТ Р 55703-2013)

Таблица 3.5 – Эталонные данные для расчета индексов цветопередачи

$T, K$	$u_r$	$v_r$	$c_r$	$d_r$
4000	0,2251	0,3344	1,2890	1,9192

Таблица 3.6 – Координаты цвета с учетом цветового смещения  $U_{k,i}$  и  $V_{k,i}$

№	$U_{k,i}$	$V_{k,i}$
1	0,265453555	0,342221606
2	0,243042716	0,354845547
3	0,209833232	0,365370907
4	0,18160174	0,350183071
5	0,189741355	0,326745806
6	0,19988394	0,303219932
7	0,238736566	0,309184071
8	0,262672387	0,319808488

### 3.8. Преобразование и координаты равноконтрастного цветового пространства

Полученные координаты цвета ( $u$ ,  $v$ ) преобразует координаты равноконтрастного цветового пространства  $[+]$  по формулам:

$$W_{r,i}^* = 25(Y_{r,i})^{1/3} - 17 \quad (3.25)$$

$$U_{r,i}^* = 13W_{r,i}^*(u_{r,i} - u_r) \quad (3.26)$$

$$V_{r,i}^* = 13W_{r,i}^*(v_{r,i} - v_r) \quad (3.27)$$

Таблица 3.7 – Координаты равноконтрастного цветового пространства

№	$W_{r,i}^*$	$U_{r,i}^*$	$V_{r,i}^*$
1	61,92751763	32,4539799	5,412213863
2	60,87969957	14,52714611	14,45700347
3	61,82289175	-11,41009376	22,4821605
4	58,95074402	-32,79094802	11,23541246
5	59,85634244	-27,74490408	-5,155958755
6	58,34121554	-20,02654939	-21,47500838
7	59,64912351	10,00324324	-17,94087625
8	61,94616559	29,9026847	-10,94811625

### 3.9. Определение результирующего цветового смещения

Разница  $\Delta E$ , между воспринимаемым цветовым  $i$ -го образца цвета при освещении исследуемым и эталонным источниками излучения определяют по формуле:

$$\begin{aligned}\Delta E_i &= \sqrt{(U_{r,i}^* - U_{k,i}^*)^2 + (V_{r,i}^* - V_{k,i}^*)^2 + (W_{r,i}^* - W_{k,i}^*)^2} = \\ &= \sqrt{(\Delta U_i^*)^2 + (\Delta V_i^*)^2 + (\Delta W_i^*)^2}\end{aligned}\quad (3.28)$$

Таблица 3.8 – Расчётные данные цветового смещения

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta E_i$	4,9378	2,7555	0,8280	5,2198	4,9985	3,2217	3,2901	8,4115

### 3.10. Расчет индекса цветопередачи

Специальный индекс цветопередачи для каждого образца цвета рассчитываются по формуле:

$$R_i = 100 + 4.6\Delta E_i \quad (3.29)$$

Таблица 3.9 – Полученные данные специального индекса цветопередачи

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$R_i$	77,285	87,324	96,190	75,988	77,006	85,180	84,865	61,306

Результат округляется до ближайшего целого числа.

Индекс цветопередачи  $R$  рассчитывают по формуле:

$$R = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i \quad (3.30)$$

Индекс цветопередачи  $R_a = 80$

### 3.11. Вывод по главе

От выбора правильной цветовой температуры источников зависит, как будет эмоционально влиять на человека окружающее пространство, восприниматься внешний вид объектов и их цвета. Большое значение имеет то, что разные источники света ассоциируются с определённой обстановкой. Например, тёплый свет свечи оказывает расслабляющее действие, белое освещение ламп дневного света создаёт рабочую атмосферу, холодное освещение создаёт большой контраст, применяется при необходимости работ с высоким цветоразличением.

Существует нормативный документ, в котором содержатся рекомендации по подбору цветовой температуры в помещении различного назначения: СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение». В нем, в частности, для жилых помещений рекомендуется тёплый свет, в помещениях, где выполняется зрительная работа - дневной 3000-4000К, в помещениях с высокими требованиями к цветоразличению более холодный свет до 5000-6000К.

При большом количестве в освещаемом пространстве зелёных и синих объектов следует применять источники с цветовой температурой более 4000К, с большим количеством красных и жёлтых цветов - не более 3500К. Кроме этого, нужно учитывать индекс цветопередачи светодиодных источников.

В разделе выполнены расчёты определение коррелированной цветовой температуры, определение координат цвета образцов, преобразование координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и  $x$ ,  $y$  в координаты  $u$ ,  $v$ , учёт цветового смещения, преобразование и координаты равноконтрастного цветового пространства и расчёт индекса цветопередачи. По итогам расчёта цветовой температуры 4000 К а индекс цветопередачи для измеряемого ИС  $R_a = 80$ . Подготовка файлов для расчёта выполнялась в программе Microsoft Excel в формате xls.



## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

На сегодняшний день энергетическая безопасность любого государства – неотъемлемая составная часть его экономической безопасности. Эффективность потребление энергии и энергосбережение имеет огромное значение для экономического потенциала общества, позволяющим оценивать уровень его развития. В данной работе рассмотрены основные направления энергосбережения путём применения современных средств и методов освещения.

Современные проблемы энергоэффективного освещения многогранны и имеют широкий спектр. Так как освещение занимает 14% от всей потребляемой электроэнергии РФ и в свою очередь 60-65% из них приходится на долю общественных помещений. Данная проблема является актуальной, поскольку дефицит энергии становится проблемой все большего числа российских городов.

В данном разделе рассматривается экономический эффект от проектирования освещения библиотеки с использованием светодиодных светильников.

Объект исследования – Научно-техническая библиотека Томского политехнического университета.

## 5.1. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный план проекта. Линейный график представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1.1	Составление и утверждение темы диссертации	5	5.02.17	10.02.17	Руководитель
1.2	Анализ актуальности темы	3	6.02. 17	8.02.17	Рук.-студ.
2.1	Поиск и изучение материала по теме	4	12.02. 17	16.02. 17	Рук.-студ.
2.2	Выбор направления исследования	2	16.02. 17	18.02. 17	Руководитель
2.3	Календарное планирование работ	1	15.02. 17	15.02. 17	Руководитель
3.1	Изучение литературы по теме	20	16.02. 17	13.03. 17	Студент
3.2	Подбор нормативных документов	6	14.03. 17	19.03. 17	Рук.-студ.
3.3	Изучение Экспериментальной методики	5	21.03. 17	25.03. 17	Студент
4.1	Энергетическое обследование проекта	20	28.03. 17	22.04. 17	Рук.-студ.
4.2	Создания системы освещения при помощи светодиодных светильников для НТБ ТПУ.	3	22.04. 17	24.04. 17	Рук.-студ.
5.1	Анализ результатов	5	25.04. 17	29.04. 17	Рук.-студ.
5.2	Заключение	3	4.05. 17	6.05. 17	Студент
<i>Итого:</i>		77			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяжёнными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 5.2 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

Код работы	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.			март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2			
1.1	Составление и утверждение темы диссертации	Руководитель	5	█													
1.2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	3	█													
2.1	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	4	█													
2.2	Выбор направления исследования	Руководитель	2		█												
2.3	Календарное планирование работ	Руководитель	1		█												
3.1	Изучение литературы по теме	Студент	20		█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
3.2	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	6							█	█						
3.3	Изучение экспериментальной методики	Студент	5							█	█	█	█	█			
4.1	Энергетическое обследование проекта	Студ.-рук.	20									█	█	█	█	█	█
4.2	Создания системы освещения при помощи светодиодных светильников для НТБ ТПУ.	Рук.-студ.	3													█	█
5.1	Анализ результатов	Студ.-рук.	5													█	█
5.2	Заключение	Студент	3													█	█

█ – Студент; █ – Руководитель.

## 5.2. Выбор объекта FAST-анализа

FAST (Методика системного анализа функций) – один из наиболее сильных и простых инструментов анализа и классификации функций. Автор - Ч. Байтуэй (США), 1965 г.

Цель - выявление выраженных в функциональной форме существенные черты и признаков рассматриваемой проблемы, расположение их в определённой логической последовательности и стимулирование поиска наиболее эффективных способов осуществления функций.

Суть метода - упорядоченный способ мышления, позволяющий понять и выразить в функциональной форме сущность предметов.

Инструментом стимулирования процесса творческого мышления и средством решения задач является диаграмма FAST, которая:

- отражает существо функций (т. е. задачи и проблемы) и позволяет формализовать приёмы функционального подхода;
- позволяет проверить правильность проведённой классификации и принятых формулировок;
- даёт возможность выявления взаимосвязи между функциями;
- позволяет быстро выявлять те функциональные зоны, в которых заложены наибольшие резервы снижения затрат;
- позволяет устанавливать понимание между специалистами различного профиля.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций выполняемых объектом.

В магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает «Потенциал энергосбережения и способы его реализации в системах электрического освещения».

### **5.2.1. Определение значимости выполняемых функций объектом**

Библиотечные интерьеры должны сочетать в себе функциональность и красоту. Добиться этого не так сложно, если соблюдать правила, позволяющие достичь зрительного комфорта. Для этого надо выдержать на определённом уровне некоторые светотехнические параметры: оптимальную освещённость, гармоничное распределение яркости света по основным поверхностям комнаты, правильную цветопередачу, тенеобразование.

Электрическое освещение должно быть многофункциональным и разнообразным. Общий свет не всегда должен быть максимально ярким, поэтому выключатель должен иметь реле, позволяющее плавно регулировать интенсивность световых лучей.

В библиотеке можно выделить различные световые зоны, обозначив каждую из них при помощи многоуровневого потолка и световых потоков. Свет, созданный несколькими видами точечных светильников, расположенных в разных плоскостях, хорошо моделируется, создавая каждый раз новое оформление интерьера.

В библиотеках люди проводят много времени за чтением. Людям старшего возраста требуется более высокий уровень освещённости, чем молодым. В зависимости от этого нужно сделать систему освещения с показателями освещённости порядка 300 или 500 лк.

Светодиодные светильники позволяют организовать систему освещения достойного уровня – энергосберегающую, долговечную, надёжную, не требующую практически никакого ухода и позволяющую реализовать самые оригинальные дизайнерские решения.

Одним из наиболее значимых достоинств светодиодных светильников является их экономичность в плане энергопотребления, а потому светодиоды –

идеальный вариант для использования в крупных общественных зданиях. Кроме того, выбирая светодиодные светильники, вы получаете возможность сэкономить на обслуживании ламп, их замене и ремонте.

Светодиодные светильники для внутреннего освещения обеспечивает экономичность и подключение к электросетям, низкое энергопотребление, КПД в 96%, сроком службы до 20 лет непрерывной работы, вибростойкие, реальная цветопередача, высокая светоотдача (до 150 люменов на 1 ватт энергопотребления). Рабочей температуры от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ , не требуют утилизации (не содержат ртуть).

### **5.3. Требования к светильникам для модернизации системы освещения**

#### **1. Требования к конструкции световых приборов:**

– конструкция светильников должна обеспечивать высокую пыле и влаго-защищенность по ГОСТ 14254-96 для исключения необходимости чисток и обслуживания в течение минимального срока службы;

– конструкция и тип рассеивателей должны обеспечивать максимальное светопропускание;

– конструкция оптической системы должна обеспечивать требуемый защитный угол относительно оптической оси по СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585 – 10;

– конструкция светильников должна обеспечивать простоту обслуживания (чистки поверхности выхода света).

#### **2. Гигиенические требования:**

– световые приборы должны соответствовать Санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585 – 10 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. Изменения и дополнение № 1к СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03»;

– световая среда, создаваемая системой освещения, должна удовлетворять требованиям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 и дополнениями [20].

### 3. Требования устойчивости к внешним воздействиям:

– световые приборы должны быть работоспособны в диапазоне окружающих температур от 0 до +50°C;

– световые приборы должны быть работоспособны при относительной влажности воздуха до 100%.

### 4. Требования к техническим характеристикам.

– общие технические характеристики светового оборудования должны соответствовать значениям, приведённым в таблице 5.4;

– светильники в своём составе должны иметь электронную схему, обеспечивающую стабилизацию тока светодиодов во всем диапазоне температур эксплуатации и напряжения питания;

– светильники должны иметь защиту от скачков напряжения сети переменного тока, превышающих по амплитуде максимальное значения напряжения питания на 20%;

– кривая силы света светильников должна соответствовать высоте подвеса и одновременно удовлетворять требованиям равномерности освещённости на рабочей поверхности по СНИП 23-05-95 при максимально возможном расстоянии между узлами расстановки светильников на потолке [18].

Таблица 5.4 – Общие технические характеристики светового оборудования Диора NPO Slim 20/2000 opal и Диора OFFICE Slim 40/5000 prism

Наименование	Единица измерения	Значение	Примечание
Напряжение питания переменного тока 47...53 Гц	В	220	180-270 В 170-280 В
Мощность потребления, не более	Вт	20 40	Напряжение питания 220В±5 В
Коэффициент мощности, не менее	cos φ	0,85 90	Напряжение питания 220В±5В
Степень защиты, не ниже		IP40	В рабочем положении

Мин. температура эксплуатации окр. среды, Токр	°С	-10	
Макс. температура эксплуатации окр. среды, Токр	°С	+40	
Световой поток	Лм	2000 5000	
Цвет и цветовая температура		3000/4000/5000/6000 К	
Индекс цветопередачи	Ra	80	
Срок службы, не менее	часов	50 000	

#### 5.4. Расчёт экономии электроэнергии и затрат

Мощность, потребляемая на освещение (для лампы накаливания):

$$P_{\Sigma} = n_{л} \times P; \text{ кВт} \quad (5.1)$$

где  $P$  – мощность всех задействованных ламп, Вт;

$n_{л}$  – количество светильников.

Потребляемая электроэнергия на освещение за год, кВт·ч:

$$P_{\text{год.ээ}} = P_{\text{свет}\Sigma} \times t_{\text{раб}}; \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (5.2)$$

$t_{\text{раб}}$  – продолжительность работы светильника в году (12 часов в сутки).

Стоимость суммарных затрат на электроэнергию за год, руб:

$$C_{\text{год}} = P_{\text{год.ээ}} \times C_{\text{ээ}}; \text{ руб} \quad (5.3)$$

$C_{\text{ээ}}$  – стоимость электроэнергии за 1кВт·ч.

Средняя стоимость суммарных затрат на электроэнергию за месяц, руб:

$$C_{\text{мес}} = \frac{C_{\text{год.ээ}}}{12}; \text{ руб} \quad (5.4)$$

Суммарное количество сэкономленной электроэнергии за год, кВт·ч:



$$P_{\text{год.эк}} = P_{\text{год.ээЛН}} - P_{\text{год.ээСД}} \quad (5.5.)$$

Стоимость сэкономленной электроэнергии за год, руб:

$$C_{\text{год}} = P_{\text{год.ээ}} \times C_{\text{ээ}}; \text{руб} \quad (5.6)$$

Затраты на покупку ламп с учётом замены за год, руб:

$$C_{\text{закупки}} = n_{\text{л}}(C_{\text{лпо}} + C_{\text{л}} \times 2 + C_{\text{зам}} \times n_{\text{з}}), \text{руб} \quad (5.7)$$

Расчёт окупаемости светодиодного освещения:

$$T = \frac{C_{\text{закупки(СД)}} - C_{\text{закупки(ЛН)}}}{C_{\text{мес.ээ(ЛН)}} - C_{\text{мес.ээ(СД)}}} \quad (5.8)$$

Расчёт экономии электроэнергии и затрат на окупаемость светодиодного освещения приведены в Приложение Ж.