

**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

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Энергосберегающие технологии в формировании световой среды жилых микрорайонов</b>

УДК 628.973:620.9:658.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Бердалиев Бексултан Женисулы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гречкина Татьяна Валерьевна	к.ф.-м.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., до- цент		

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>		
Р1	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.
Р2	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.
Р3	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.
Р4	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.
Р5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов	Требования ФГОС-3 (ПК-9, 12, 13, 14,15, 16, 17, ПК-9) Критерий 5 АИОР (пп 5.2.2,

	контроля качества изготовления деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов	5.2.8), согласованный с 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 работодателей.
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 (специальность) 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

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ5А	Бердалиев Бексултан Женисулы

Тема работы:

Энергосберегающие технологии в формировании уличного освещения и прилегающих территорий жилых микрорайонов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	03.12.201 9489/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

12.06.2017 г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	-объект исследования: территориально-пространственный участок жилого микрорайона  -фотографии прилегающих территорий на участке жилого микрорайона
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b>	1. Аналитический обзор литературных источников на тему: -анализ жилых микрорайонов на предмет освещения прилегающих территорий -нормы и правила освещения на тему (улицы, скверы, парки, детские площадки, зоны перемещение людей в открытых пространствах и т.п.). 2. Разработка дизайна-проекта освещения жилого массива и прилегающих территорий 3. Разработка электротехнической части проекта

<b>Перечень графического материала</b>	Светотехнический раздел проекта: построение трехмерной модели объекта исследования, расчет освещенности с помощью программного комплекса DiaLux; Электрическая часть проекта.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент	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>	
Роль освещения в организации искусственной световой среды города	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	28.09.2015г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Подпись	Дата
доцент, кандидат физико-математических наук	Гречкина Т.В.		28.09.2015г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ51	Бердалиев Б.Ж.		28.09.2015г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ5А	Бердалиев Бексултан Женисулы

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.	Человеческие ресурсы 2 чел. (проектировщик и монтажник).
--	--

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

1. Расчет трудоемкости этапов:	5.1 Расчет трудоемкости проектирования освещения и монтажных работ; 5.2 Расчет себестоимости и цены на наружное освещение; 5.2.1 Расчет материальных затрат; 5.2.2 Расчет заработной платы; 5.2.3 Расчет единого социального налога; 5.2.4 Расчет накладных расходов; 5.3 Оценка качества и конкурентоспособности освещения со светодиодными источниками света.
--------------------------------	--

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

Диаграмма расходов на наружное освещение
--

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	Бердалиев Бексултан Женисулы		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4BM5A	Бердалиеву Бексултану Женисулы

<b>Институт</b>	<b>ИФВТ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЛИСТ</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	12.04.02 «Оптотехника»

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>1. Объектом исследования является жилой массив приблизительно площадью 50.000 м<sup>2</sup> который расположен между улицами Кулева и проспектом Ленина. Выполнение данной ВКР осуществлялось с помощью прикладного программного обеспечения..</p>
---	---

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

<p>1. Производственная безопасность в компьютерном помещении</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>2. Пульсация освещенности</li> </ol> <p>Опасный фактор:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Электрический ток</li> </ol>
<p>2. Экологическая безопасность</p>	<p>Источниками света в светильниках являются светодиоды. В светодиодах не содержатся вредные вещества как ртуть, вследствие чего являются экологически безопасными и потому не требуют специальной утилизации.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</p>	<p>К чрезвычайным ситуациям при разработке дизайн-проекта светового решения и при эксплуатации светодиодных светильников относится пожар.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p> <p>4.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 при размещении рабочих мест с ЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами должно быть не менее 2,0 м. Рациональное и эффективное размещение светодиодных светильников при эксплуатации объекта исследования.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ассистент	Задорожная Татьяна Анатольевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4BM5A	Бердалиев Бексултан Женисулы		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа: 121 с., 29 рисунков, 19 таблиц, 58 источников, 2 приложений.

*Ключевые слова:* освещение, наружное освещение, светодиодные источники света, энергосберегающие технологии, энергосбережение.

*Объектом исследования* является жилой массив приблизительно площадью 50.000 м<sup>2</sup>. Представляет собой ряд строений – жилых и административных зданий. Территория объекта пересечена дорогами для перемещения людей и транспорта, как внутри жилого массива, так и с внешних его сторон. Инфраструктура объекта снабжена придомовой территорией с наличием детской площадки, торговых помещений, мест для сбора мусора, зонами перемещения людей. Объект исследования принадлежит к строениям определенной исторической давности, но с текущим и продолжающим функционированием, как объектов муниципального назначения.

*Целью настоящей работы* является создание наружного освещения жилых комплексов с целью повышения качества световой среды при использовании энергосберегающих технологий.

*Проведен анализ* текущего освещения жилого массива, выявлено ряд проблемных обстоятельств, которые нуждаются в рассмотрении на предмет привлечения энергосберегающих технологий, в том числе с обеспечением качественного и комфортного освещения. В процессе работы был представлен общий дизайн-проект освещения объекта в светотехнической программе DIALux и создано освещение отдельных частей объекта. В качестве источников света использовались светодиодные светильники и прожекторы.

*Научная новизна* исследования заключается в рассмотрении наружного освещения города как комплекс основных составляющих окружения человека. Настоящая работа направлена на изучение вопросов внедрения и распространения энергосберегающих технологий в сферу жилищно-коммунального хозяйства.

## Определения, обозначения, сокращения

В работе использованы следующие обозначения и сокращения:

АСУНО – Автоматизированная система управления наружным освещением

АО - архитектурное освещение

ККМ - корректор коэффициента мощности

КПД - коэффициент полезного действия

КЕО - коэффициент естественной освещённости

КСС - кривая силы света

ЛВД - лампа высокого давления

МГЛ - металлогалогенная лампа

НЛВД - натриевые лампы высокого давления

ОУ - осветительная установка

РЛВД - ртутная лампа высокого давления

СЛ – серная лампа

ЭБ – электронный балласт

ЭПРА - электронный пускорегулирующий аппарат

DC – direct current

LED – light-emitting diode

LSG – lighting smart grid

PLC – power line communication

## Оглавление

Введение.....	13
Глава 1. Анализ эволюции искусственного освещения открытых пространств	15
1.1 Об интеллектуальном освещении.....	15
1.2 Предыстория освещения открытых пространств .....	16
1.3 Выводы по главе 1 .....	19
Глава 2. Тенденции освещения открытых пространств современности .....	20
2.1 Освещение открытых пространств.....	20
2.2 Технология светодиодного освещения .....	28
2.3 Функции и нормы утилитарного и архитектурного освещения в световой среде ночного города .....	32
Глава 3. Роль освещения в организации искусственной световой среды города.....	36
3.1 Возможности энергосбережения .....	39
3.2 Об управляемости сетей освещения.....	47
3.3 Технологии энергоресурсосбережения.....	54
Глава 4. Дизайн-концепция светового решения жилого микрорайона с помощью энергосберегающих технологий .....	58
4.1 Объект исследования .....	58
4.2 Представление объекта исследований .....	59
4.3 Анализ результатов измерений объектов на территории жилого массива ...	63
4.4 Создание трехмерной модели и расчет текущего освещения в программном комплексе DIALux .....	68
4.5 Электрический расчет осветительной сети .....	74
Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	77
Введение.....	77
5.1 Расчет трудоемкости проектирования освещения и монтажных работ .....	77
5.2 Расчет материальных затрат .....	80

Глава 6. Социальная ответственность.....	87
Введение.....	87
6.1 Производственная безопасность.....	88
6.2 Экологическая безопасность.....	95
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	96
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	100
Заключение .....	102
Список литературы .....	103
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	119

## Введение

Светотехника в наши дни - важный компонент функциональной организации среды обитания современного человека. Правильно спроектированное освещение площадей и улиц - это не только комфорт и безопасность людей в темное время суток, но и мощный инструмент в руках архитектора, позволяющий моделировать различные аспекты эстетического восприятия городской среды.

При этом объектами городской среды в большей своей массе энергопотребления являются объекты жилищно-коммунального хозяйства, где потребности электрического освещения достаточно высоки, но недостаточно сформированы. Не исключен из обихода свет ламп накаливания, газоразрядных источников света, которые не обеспечивают нужной цветопередачи, или продолжают «трудиться» в режиме невыключения в дневные часы. Тот или другой подход не обеспечивает ни комфортного освещения, ни экономии потребляемых энергоресурсов.

Настоящая работа направлена на изучение вопросов внедрения и распространения энергосберегающих технологий в сферу жилищно-коммунального хозяйства.

Данная работа отражает потребности объектов ЖКХ в привлечении мер энергосбережения, при обеспечении качественного и комфортного освещения. Особое внимание уделяется «немолодым» жилым массивам, где вопросы привлечения и реализации программ энергосбережения охватывают комплексные задачи по модернизации и обновлению оборудования. Где каждый из объектов должен рассматриваться как отдельный, индивидуальный проект с оптимальным для него решением в плане светового благоустройства.

Данная работа также направлена на привлечение внимания управляющих компаний, городских властей на предмет реализации потребностей жилищно-коммунального фонда в осуществлении мер энергоресурсосбережения, как приоритетной задачи.

### **Актуальность темы**

Данная проблематика является приоритетной в формировании мероприятий и специализированных подпрограмм по энергосбережению и повышению энергетической эффективности для жилого фонда города Томска.

Модернизация систем коммунального освещения включает комплекс мер и задач, связанных со световым благоустройством домов, а также их придомовой территории, с учётом законодательства в сфере энергосбережения и рационального использования потребляемых энергоресурсов.

**Целью настоящей работы** является создание наружного освещения жилых комплексов с целью повышения качества световой среды при использовании энергосберегающих технологий.

### **Задача исследования:**

- Литературный обзор по тематике исследований энергосберегающих технологий, как способа ресурсосбережения и экономии;
- анализ объектов ЖКХ в структуре жилого массива на предмет текущего пользования световым оборудованием в светлое и тёмное время суток;
- проведение измерений освещенности на территории жилых микрорайонов г. Томска;
- разработка 3D модели объекта жилого массива и прилегающих территорий в программе в DIALux;
- предоставление варианта проектного решения освещения жилого массива в рамках современных энергосберегающих технологий.

## **Глава 1. Анализ эволюции искусственного освещения открытых пространств**

### **1.1 Об интеллектуальном освещении**

Наметившийся в последние годы тренд перехода к созданию интеллектуальных систем освещения (Lighting Smart Systems) превращается в мейнстрим. При этом становится все более очевидным, что системам с интеллектуальным управлением требуется также и интеллектуальное проектирование (Smart Engineering) [12], которое, в свою очередь, нуждается в осмыслении эволюции искусственного освещения, анализе современного состояния систем и прогнозировании направлений дальнейшего развития. Это относится не только к техническим (и программным) средствам систем, но и, собственно, к требуемому качеству освещения, диктуемому постоянно возрастающими потребностями, которые и являются побудительными мотивами дальнейшего развития. Необходимо также учитывать, что в последнее время растет понимание ограничений в потреблении не только энергии, но и других ресурсов, требуется также учитывать и возможные негативные последствия для среды обитания.

Существует ряд реализованных проектов разного рода интеллектуальных энергоресурсосберегающих систем освещения, обеспечивающих улучшение потребительских характеристик. Представляется, однако, что разработчики этих проектов часто увлекаются воплощением очередной инновационной концепции и не ставят перед собой задачи комплексной оценки и сравнения с другими перспективными проектами. Некой общепринятой понятийной нормой становится получение показателя энергосбережения в 25, 50 или даже 80% в сравнении с заменяемыми устаревшими, а зачастую и физически изношенными сетями освещения [16].

Ограниченный технико-экономический анализ, а чаще всего вообще его отсутствие может привести и уже приводит к тому, что внедряются системы,

которые вскоре также могут быть признаны устаревшими и малоэффективными. В связи с этим представляется, что точные определения требуемых потребительских качеств с выводом интегрального экономического критерия сравнения, а также углубленный прогноз развития систем позволят нам, в конце концов, синтезировать наилучший вариант интеллектуальной энергоресурсосберегающей системы освещения, максимально приближенный к ее идеальному облику [11].

Возвращаясь к исходной точке рассуждения, приведём анализ из истории искусственного освещения.

## **1.2 Предыстория освещения открытых пространств**

Еще до середины XVII в. освещение открытых пространств осуществлялось преимущественно факелами, и то по торжественным случаям или при выездах важных персон. Известен Указ французского короля об освещении прилегающих к домам территорий с помощью светильников, выставляемых на подоконники в частных домах. Понимание необходимости введения вечернего освещения улиц для увеличения безопасности и повышения активности городского населения Парижа привело в 1667 г. к изданию королевского Указа об учреждении уличного освещения, за что (по одной из версий) Людовик XIV и получил прозвище «король-солнце». Первые масляные уличные светильники уже обеспечивали длительное время горения за счет большого объема питающего резервуара. Они устанавливались на столбах и на стенах домов в остекленных футлярах, позже названных фонарями (от др.-греч. *favos* — «светоч»). Эти светильники давали мало света, требовали ежедневного обслуживания и были недостаточно надежны и безопасны.

Для обслуживания масляных уличных светильников требовалось большое число фонарщиков, занимающихся их зажиганием и гашением, периодической чисткой и заправкой фитилей, а также подливом масла.



Введение спирто-скипидарного, а затем и керосинового уличного освещения несколько повысило его качество и надежность и уменьшило трудоемкость обслуживания, однако до сравнения искусственного уличного освещения со светом Солнца была еще долгая дорога.

Дальнейший прогресс светильников горения был связан с углубленным анализом их работы. Понимание того, что в действительности во всех этих светильниках горит газ, привело к выводу о возможности отделения процесса получения газа (который называли светильным) от собственно светильника. Эта концепция привела к созданию в начале XIX в. технологий газогенерации (пиролиза) из дерева (Филипп Лебон), угля (Уильям Мердок) и китового жира, а также собственно технологии газового уличного освещения.

Уличное газовое освещение впервые появилось в Лондоне в 1813 г., затем в Париже в 1819 г., в Берлине в 1826 г. и несколькими годами позже в других европейских столицах. В Санкт-Петербурге же только в 1835 г. начались работы по организации централизованного газового освещения первой российской акционерной газовой компанией «Общество для освещения Санкт-Петербурга газом». Первый газовый завод был построен на Обводном канале. Чугунные трубы для газопровода производились в Рябовских мастерских.

Вторая акционерная газовая компания была создана в 1858 г. Одним из ее учредителей стал прототип героя романа М. Ю. Лермонтова граф А. П. Шувалов, благодаря активной деятельности которого количество газовых рожков компании к 1880 г. достигло 125 тыс. шт., а длина газовых сетей — 241 версты. В 1864 г. газовое освещение появилось в Вильно, в 1865 г. — в Москве и в 1871 г. — в Харькове.

Примечательно, что самый большой в мире мокрый газгольдер емкостью более 400 тыс. м<sup>3</sup> был сооружен в Нью-Йорке, т. е. именно там, где Т. Эдисон в 1890-х годах и начал внедрение своих сетей электрического освещения.

Дальнейший прогресс в газовом освещении был связан с использованием явления свечения веществ, раскаленных до высоких температур. Первона-

начально это был светильник, в котором столбики гашеной извести нагревались в пламени кислородно-водородной горелки (т. н. «друммондов» свет, созданный Т. Друммондом в 1826 г.). Чаще всего он использовался как театральный, а также в качестве источника света на маяках. «Друммондов» свет был крайне пожароопасен, однако только в конце XIX в. ему нашлась замена в виде электрической дуговой лампы П. Н. Яблочкова.

Прошло совсем немного времени по историческим меркам, и в начале XX в. газовое освещение стало активно вытесняться с городских улиц электрическим светом. До нашего времени только в некоторых городах Европы отдельные сети газового освещения сохранились как историческое и культурное наследие. В Берлине благодаря активности общественного движения «Газосветная культура» (Gaslicht- Kultur) функционируют более 40 тыс. газовых светильников (рис. 1а) (в основном в парках и в пешеходных зонах), несмотря на то, что их эксплуатация обходится берлинскому муниципалитету почти вчетверо дороже, чем электрических. Из всех берлинских светильников первыми кандидатами на замену и сдачу в музей являются 4500 газовых светильников для уличного освещения с линейками из четырех, шести и девяти калильных колпачков (рис. 1б), которые были установлены еще в 1950-х годах (В. Хильтерхаус). Такая замена может снизить затраты муниципалитета на газ и на обслуживание светильников на несколько миллионов евро в год.



а)

б)

Рисунок 1 - а) Берлинский газокалильный фонарь б) Берлинский газокалильный уличный светильник

Во многих странах в районах без централизованного электроснабжения получили распространение как спиртовые, так и керосиновые лампы с калильными сетками. И до настоящего времени около 1 млрд человек используют керосиновые светильники в удаленных неэлектрифицированных районах Африки, Юго-Восточной Азии, Южной Америки и северных районах России. Автономные светильники на изобутане с калильными сетками на современных материалах используются туристами в качестве кемпингового освещения [2].

### **1.3 Выводы по главе 1**

1. Весьма важно то, что эволюция искусственного освещения происходила параллельно с техническим прогрессом в целом ряде сфер, причем ускорения этого совместного прогресса получали названия технических революций (неолитическая революция, первая промышленная революция и т. д.).

2. Предыстория освещения открытых пространств показывает, что их эволюция протекала в виде последовательной смены технологий освещения с периодами одновременного существования и конкурентной борьбы нескольких технологий. Главной причиной замены старых технологий освещения открытых пространств на новые были меньшие суммарные затраты на их внедрение и эксплуатацию. При этом характерно, что в условиях перманентного технического прогресса наивысшие достижения, а часто и научное объяснение сути каждой из этих технологий приходятся, как правило, уже на период их отмирания. Калильные светильники появились на закате эры газового освещения, а теория горения углеводородов была создана существенно позже начала заката уже следующей доминирующей технологии — электрического освещения лампами накаливания.

## **Глава 2. Тенденции освещения открытых пространств современности**

### **2.1 Освещение открытых пространств**

Первыми сетями электрического освещения, вступившими в борьбу с системами газового освещения, стали сети с дуговыми лампами П. Н. Яблочкова («La lumière russe» — «Русский свет»). Произведя фурор в 1876 году на выставке в Лондоне, они получили возможность внедрения в разных городах в десятках крупных проектов, однако не смогли выйти на уровень массового применения из-за того, что малое время жизни ламп приводило к большим эксплуатационным расходам. А вот сети электрического освещения с лампами накаливания показали свое преимущество в эксплуатации, причем это стало очевидным еще до появления долгоживущих вольфрамовых нитей накаливания и до создания эффективных трехфазных сетей электроснабжения. С того времени успехи и провалы каждой инновационной технологии определялись исключительно интегральными экономическими критериями, как это произошло, к примеру, в известном конфликте, связанном с прорывом в эффективности электроснабжения, который называли «война токов» [5].

В нулевых годах XIX века исследованиями искусственного электрического освещения занялся русский физик-экспериментатор Василий Владимирович Петров. Он первым получил и начал изучать свечение электрической дуги между двух угольных электродов, запитав их от созданной им уникальной электрической батареи (так называемого вольтова столба) напряжением около 2 кВ [6]. Впоследствии выдающийся английский физик Хамфри Дэйви назвал этот тип электрического разряда вольтовой дугой.

Однако, поскольку основным источником получения электричества многие десятилетия были громоздкие первичные и вторичные химические источники постоянного тока — электрические батареи и аккумуляторы, то экспе-

рименты с электрическим освещением практически не выходили за стены лабораторий.

Лишь создание электромеханических генераторов тока открыло дорогу широкому применению электроэнергии.

Долгое время не удавалось создать практичную и долговечную лампу дугового разряда из-за необходимости поддержания точного расстояния (3-5 мм) между сгорающими угольными электродами, что требовало ручного или автоматического регулирования (лампы Сименса и Гальске, Кертинга, Шуккерта, Яндуса и др.).

Решить проблему поддержания постоянного расстояния между электродами дуговой лампы, не используя сложные и малонадежные регуляторы, удалось П. Н. Яблочкову. В середине 1870-х годов он создал первую в мире систему электрического освещения, решив несколько проблем и предложив ряд инноваций, среди которых необходимо отметить следующие:

- собственно дуговая лампа, состоящая из двух параллельно расположенных угольных электродов с каолиновым изолятором, ограничивающим зону горения [7];

- система переменного напряжения вместо общепринятого в то время постоянного напряжения, обеспечивающая одинаковое обгорание обоих электродов [8];

- генераторы переменного напряжения повышенной эффективности;

- обеспечение питания большого количества ламп от одного источника напряжения (решение так называемой проблемы дробления света), поскольку дуговые лампы не допускали простого параллельного подсоединения к одному генератору;

- создание прототипа трансформатора как одного из элементов первого варианта схемы «дробления света»;

- обеспечение автоматического зажигания дуговых ламп без принудительного замыкания и разогрева электродов (за счет сгорания специальной перемычки);

- обеспечение повторного автоматического зажигания дуговых ламп после гашения за счет добавления в угольные электроды специальных примесей для формирования этой спецперемычки после гашения лампы;

- увеличение светоотдачи лампы за счет добавления в угольные электроды солей металлов (фторидов магния, стронция, бария, кальция), а также получение с помощью добавок различных цветовых эффектов. Кроме этого, считается, что принята.

В конце же XIX века, выявилась большая потребность в ярких и надежных источниках света с продолжительным сроком службы, не нуждающихся в каком-либо существенном обслуживании.



Рисунок 2 - Обслуживание одной из мачт освещения г. Остин

Первой системой электрического освещения, потеснившей господствовавшее в то время газовое освещение, стала система с лампами накаливания Томаса Эдисона, пилотный проект которой он смог внедрить в Нью-Йорке в 1882 году. Отличительными чертами проекта Эдисона были:

- применение вакуумированных ламп накаливания с угольными нитями (обугленный бамбук);

- использование запатентованной биполярной сети постоянного напряжения;

- применение ряда запатентованных составных частей, в том числе выключателей, винтовых ламповых цоколей и патронов, предохранителей, счетчиков электроэнергии и пр.;

- повышение эффективности электрогенераторов постоянного напряжения.

Важнейшей системной инновацией для электрического освещения в начале XX века был переход на трехфазные сети энергоснабжения, основной вклад в который принадлежит М. О. Доливо-Добровольскому [5]. Технология трехфазных сетей позволила, используя трансформаторное преобразование, передавать электроэнергию на большие расстояния с малыми потерями, отказаться от маломощных и малоэффективных тепловых электростанций, улучшить экологию и удешевить электроэнергию за счет ее производства на крупных гидро, тепловых, а в дальнейшем и на атомных электростанциях.

Таким образом, уже в 20-х годах прошлого века системы освещения кардинально отличались от систем, внедряемых Т. Эдисоном. На смену угольным нитям пришли вольфрамовые, постоянное напряжение было заменено переменным с генерацией на крупных электростанциях, произошла существенная модернизация всех составных частей систем освещения, включая электросчетчики. До настоящего времени дожили и остались наиболее распространенными единственные элементы эдисоновских сетей — ламповые цоколи (Edison Screw — ES). В сетях с напряжением 220 В используются цоколи E14 и E27 (014 и 27 мм), в сети 110 В — E12 и E26 (012 и 26 мм), в сетях наружного освещения применяется цоколь E40 (040 мм).

В уличном освещении ряда стран довольно широко применялись люминесцентные лампы. В нашей стране они не вышли за рамки малочисленных пилотных проектов, поскольку при отрицательных температурах невозможно обеспечить их надежное зажигание и высокую энергоэффективность. Кроме этого, из-за большой площади тела свечения и при редко расположенных опорах они не нашли применения для равномерного освещения улиц. На языке светотехники это означает, что получение кривой силы света (КСС) типа III

(широкой) было довольно затруднительно. В связи с этим в можно было бы на них и не останавливаться, если бы не два обстоятельства. Первое — эффект люминесценции в дальнейшем широко использовался в еще более эффективных ртутных лампах высокого давления, а также в светодиодах. Второе — именно с люминесцентных ламп в начале 1980-х годов началось широкое распространение полупроводниковой электроники (электронной пускорегулирующей аппаратуры — ЭПРА). Использование ЭПРА можно считать первым успешным примером применения электроники в освещении, что стало предвестником эры полупроводниковой светотехники.

ЭПРА, или так называемые электронные балласты, заменили в люминесцентных светильниках электромагнитные балласты (ЭБ), которые содержали балластный дроссель, стартер (обеспечивающий предварительный нагрев электродов лампы и зажигание) и конденсатор, уменьшающий помехи и улучшающий коэффициент мощности. ЭБ обеспечивают зажигание разряда и стабилизацию тока через люминесцентную лампу. Применение ЭПРА улучшает ряд эксплуатационных характеристик люминесцентных светильников и, несмотря на увеличение стоимости, сроки окупаемости вполне приемлемы. Среди эксплуатационных характеристик люминесцентных светильников с ЭПРА нужно выделить следующие:

- увеличенная светоотдача лампы на повышенной частоте электропитания и более высокий КПД ЭПРА в сравнении с ЭБ, что повышает энергоэффективность на «20%;
- увеличение срока службы ламп вдвое благодаря щадящему режиму работы и пуска;
- существенное снижение эксплуатационных расходов за счет сокращения числа заменяемых ламп и отсутствия необходимости замены малонадежных стартеров;
- отсутствие шумов и пульсаций яркости;
- увеличение коэффициента мощности до «0,85, что особенно важно для энергосбережения в больших системах освещения;



- стабилизация светового потока при изменении питающего напряжения в широких пределах;
- снижение пусковых токов;
- возможность диммирования (управления яркостью) с дополнительным энергосбережением;
- обеспечение отключения при неисправности лампы.

Современные тонкие (диаметром 5/8 дюйма) люминесцентные лампы Т5 с повышенной светоотдачей (более 100 лм/Вт) используются только с ЭПРА. Миниатюризация ЭПРА позволила встроить их в компактные люминесцентные лампы, получившие титул «энергосберегающие».

Возвращаясь к наружному освещению, отметим, что в первой половине XX века исследования свечения паров ртути под действием электрического тока проводились в ряде лабораторий в направлении повышения светоотдачи при повышении давления паров. Однако только к 1948 году удалось создать работоспособную конструкцию ртутной лампы высокого давления (РЛВД) с малогабаритной кварцевой горелкой, которая выдерживала бы высокую температуру возбужденной ртутной плазмы. РЛВД и все позже разработанные лампы высокого давления (ЛВД) так же, как люминесцентные лампы, требовали применения балластов (вначале это были ЭБ, а затем и более эффективные ЭПРА) ввиду необходимости стабилизации тока.

В 1960-х годах с созданием устойчивых к высокой температуре люминофоров появились РЛВД с улучшенным спектром в красно-желтой области. Они стали известны как РЛВД с улучшенной цветопередачей («color corrected»). Светоотдача лучших РЛВД достигла 40 лм/Вт. Однако, поскольку люминофор наносится на внутреннюю сторону внешней колбы, то увеличенная поверхность свечения вызывала сложности с созданием светильника с КСС типа Ш. Так что этим лампам не было суждено качественно изменить ситуацию в наружном освещении городов. А вот на отечественных железных дорогах РЛВД до последнего времени применялись довольно широко из-за необходи-

мости использования «белого» освещения ввиду повышенных требований по безопасности.

Дальнейшей модернизацией РЛВД стали металлогалогенные лампы (МГЛ), в которых энергоэффективность удалось увеличить до «90 лм/Вт за счет добавки в состав плазмы галогенидов металлов. Улучшился и спектр света ламп, он стал ближе к непрерывному спектру солнечного света из всех широко распространенных ЛВД.

В настоящее время в ряде стран производство светильников с РЛВД прекращено, а старые светильники переводят на более совершенные металлогалогенные лампы (МГЛ) с одновременной заменой ЭБ, поскольку для МГЛ дополнительно требуется импульсное зажигание.

Важнейшим технологическим улучшением ЛВД стало использование энергоэффективного излучения паров натрия. Сложность его применения была в том, что при высоком давлении и температуре натрий химически весьма активен. Прозрачную горелку для удержания агрессивных паров натрия удалось создать из оксида алюминия только в конце 1960-х годов. С того времени началось широкое распространение натриевых ламп высокого давления (НЛВД) в освещении открытых пространств, поскольку они обладают наилучшей энергоэффективностью среди всех ЛВД. Светоотдача маломощных НЛВД может достигать 100 лм/Вт, а мощных — даже 150 лм/Вт. Долговечность ламп доходит до 25 000 ч. Правда, преимущественно желто-оранжевый спектр свечения НЛВД первоначально был довольно далек от комфортного белого света.

Применение для МГЛ аналогичных керамических горелок позволило поднять их эффективность (до «120 лм/Вт) и долговечность (до «15 000 ч).

В 1986 году благодаря повышению давления паров натрия удалось создать НЛВД с исправленной цветопередачей, они имеют цветовую температуру около 2700 К, индекс цветопередачи CRIC 85, что близко к свету ламп накаливания. Однако это было достигнуто за счет уменьшения эффективности и долговечности, а также за счет увеличения цены.

Важным качеством ламп высокого давления является возможность управления их яркостью (диммирование). Хотя НЛВД можно диммировать не более чем на 50%, а обычные МГЛ — только на 30% без существенного изменения спектра. Несколько лет назад были созданы специальные МГЛ для уличного освещения с возможностью 50%-го диммирования.

В современных светильниках с ЛВД так же, как и в люминесцентных, происходит замена ЭБ на ЭПРА с описанными выше преимуществами, включая возможность энергосбережения.

Отдельным подклассом газоразрядных ламп следует считать безэлектродные лампы. Возбуждение плазмы в этих лампах достигается с помощью различных генераторов электромагнитных полей. Поскольку в таких лампах отсутствуют электроды и улучшена герметизация, срок их службы существенно увеличивается — до 50 000 ч и более.

Из безэлектродных ламп первыми были изобретены индукционные лампы. В современном виде они представляют собой торообразную люминесцентную лампу с двумя надетыми на нее кольцевыми электромагнитными возбуждителями поля частотой в несколько сотен килогерц. Несмотря на возможность работы в широком диапазоне температур, они находят ограниченное применение в уличном освещении ввиду сложности получения КСС типа Ш.

В середине 1990-х появились серные лампы высокого давления (СЛ), в которых возбуждение серной плазмы в малогабаритной горелке в атмосфере аргона обеспечивается магнетроном с частотой 2,4 ГГц. По спектру излучения эти лампы наиболее близки к спектру солнечного света, однако конструктивно сложны из-за магнетронного возбуждения, требований по экранированию излучения, а также необходимости вращения и охлаждения горелки.

Совсем недавно разработаны и безэлектродные МГЛ, в которых возбуждение разряда достигается с помощью диэлектрического объемного резонатора.

Безэлектродные ЛВД в сравнении с обычными ЛВД допускают более глубокое диммирование (до 3-4 раз).

Несмотря на улучшение ряда характеристик, бесконтактные ЛВД пока не находят широкого распространения из-за более высокой цены.

Таким образом, к концу XX века газоразрядное освещение достигло вершины своего развития и практически все последние инновации в этой области не приводили уже к каким-либо качественным сдвигам в системах наружного освещения. По закону жанра назрел переход к следующему технологическому этапу развития. Им стал этап светодиодного освещения.

## **2.2 Технология светодиодного освещения**

Эффективность светодиодов постоянно увеличивается, в том числе и цветовая номенклатура изделий. В конце 1980-х световой поток одиночных красных, желтых и зеленых светодиодов достиг значения 1 люмен (лм). Усилия исследователей ряда лабораторий в это время сконцентрировались вокруг создания эффективного синего светодиода.

Успех на этом поприще поджидал и японского исследователя Суджи Накамура, который в отличие от большинства ученых того времени из двух возможных материалов для изготовления синих светодиодов выбрал считавшийся менее перспективным нитрид галлия (GaN). Этот материал обладал существенно большей удельной плотностью дислокаций, чем популярный в то время селенид цинка (ZnSe). Ему удалось создать уникальную технологию и получить пленки нитрида галлия п-типа и р-типа, а также излучающий слой из InGaN. Итогом работы Суджи Накамура стало появление в конце 1993-го первого коммерческого образца синего светодиода [14].

В последующие годы усилиями коллективов исследователей были созданы эффективные светодиоды, которые могут излучать во всем оптическом диапазоне от ультрафиолетового до инфракрасного. При этом состав полупроводников светодиодов варьируется от нитрида галлия (GaN) до сульфида цинка (PbS).

Казалось бы, теперь можно легко получить любой цвет освещения (включая белый) путем аддитивного смешения цветов, описанного Исааком Ньютоном еще в 1672 году, используя красный, синий и зеленый светодиод, как это делается, к примеру, в телевидении. Однако этому препятствуют две нерешенные до настоящего времени проблемы. Первая — эффективность зеленых светодиодов до настоящего времени остается весьма низкой (проблема так называемой зеленой долины [15]). Вторая — большая температурная нестабильность и разброс в характеристиках излучения мощных светодиодов. В результате многокомпонентные светодиодные светильники получили распространение в наружном освещении в основном для подсветки и создания различных спецэффектов. Производителям светодиодов, предназначенных для освещения, пришлось идти старым проторенным путем — использовать люминесценцию. Первые белые «сверхъяркие» светодиоды, объединяющие синий светодиод с желтым люминофорным покрытием, появились в 1996 году. С этого и началась современная история светодиодного освещения.

Эффективность серийно производимых белых светодиодов за это время возросла с 10 до 110 лм/Вт для «теплого» оттенка, подобного спектру ламп накаливания (цветовая температура «3000 К) и до 160 лм/Вт для «холодного» оттенка, подобного спектру люминесцентных ламп (цветовая температура «5000 К). Световой поток одиночного светодиода превысил 200 лм.

Постепенно светодиоды составили конкуренцию практически всем традиционным источникам света. В настоящее время они широко применяются в рекламном, театральном, офисном, домашнем и других видах освещения. Создание же конкурентного уличного светильника вызывает определенные сложности, связанные с большой мощностью. Так, при построении магистрального светильника со световым потоком «20 000 лм на наиболее эффективных одноваттных светодиодах их потребуется около 200 штук. При этом для минимизации деградаций необходимо обеспечить режим работы кристалла светодиода при температуре, не превышающей 85 °С. Это достигается применением довольно массивного радиатора (на 1000 лм требуется не менее 0,8 кг массы ра-

диатора). Следует также учитывать, что электроника управляемого драйвера светильника должна отвечать требованиям высокой надежности и долговечности в широком температурном диапазоне. Необходимо также обеспечить высокий коэффициент мощности. В настоящее время такие светильники стоят гораздо дороже светильников на ЛВД, и, несмотря на большую экономию электроэнергии, срок их окупаемости весьма продолжительный. За рубежом высокие тарифы на электроэнергию стимулируют муниципальные власти активно внедрять современные энергосберегающие технологии освещения. Существуют уже отдельные города, полностью перешедшие на светодиодное освещение.

Казалось бы, в деле освещения больших городских территорий в наше время цели предельно ясны и задачи определены. Более того, на протяжении нескольких столетий этот вопрос находил успешные решения в различных вариантах, соотносящихся с возрастающими потребностями и следующим за ними прогрессом источников света, чему были посвящены первые две части настоящей статьи. Современные требования к искусственному освещению городской среды исходят из того, что света в ночном городе должно быть достаточно для комфорта пешеходов и безопасности движения транспорта на дорогах. Все необходимые характеристики наружного освещения детализированы в основополагающих документах: СНИПах, СП и ГОСТах. С точки зрения управления также все кажется достаточно простым: включать и выключать свет требуется с заходом и восходом солнца соответственно, что в наше предельно автоматизированное и электрифицированное время легко делается либо по астрономическим часам, либо по датчику освещенности. Остается только приобрести самые современные энергосберегающие светильники, модернизировать коммутационную аппаратуру, наставить счетчиков электроэнергии — и мы получим современную интеллектуальную систему освещения.

Собственно говоря, примерно так и создавалась самая совершенная на настоящий момент, как считает ряд аналитиков, светодиодная система освещения Лос-Анджелеса, города — побратима Санкт-Петербурга. Она получила поддержку фонда бывшего президента США Б. Клинтона и министерства энер-

гетики США (Department of Energy — DOE), а также была одобрена ассоциацией крупнейших сорока мировых мегаполисов по вопросам климата (Cities Climate Leadership Group — C40).

За четыре года в Лос-Анджелесе было установлено более 140 тыс. светодиодных светильников от нескольких производителей и внедрена система, управляющая работой светильников и контролирующая энергопотребление (Smart Metering). Теперь большая часть города освещена белым светом светодиодов (как на переднем плане рис. 3), а оплата электроэнергии стала производиться не по суммарной установленной мощности светильников и времени их горения, а по объективным показателям счетчиков.



Рисунок 3 - Освещение Лос-Анджелеса

Модернизация коснулась в первую очередь тех кварталов и улиц Лос-Анджелеса, которые можно было осветить относительно маломощными светильниками (до «10 тыс. лм каждый»). Во вторую очередь проводится замена более мощных натриевых светильников на крупных городских магистралях. На следующем этапе множество нестандартных светильников архитектурно-

художественной подсветки также будет переведено с газоразрядных ламп высокого давления (ЛВД) на светодиодные.

Аналогичные проекты реализуются в других крупнейших городах Калифорнии — Сан - Франциско и Пало-Альто, в Анкоридже на Аляске, в Квебеке (Канада), в Осло (Норвегия) и ряде европейских городов. Очевидно, что таким масштабным программам необходимо полновесное технико-экономическое обоснование с учетом всех видов расходов на протяжении жизненного цикла системы освещения с возможностью сравнения с альтернативными вариантами систем. Однако инициаторы этих проектов ограничиваются, как правило, подсчетом срока окупаемости начальных затрат от экономии электроэнергии по отношению к существующим, морально и физически устаревшим системам и не пытаются охватить проблему во всей ее полноте. Достаточно сказать, что возможные альтернативные варианты систем даже не предлагаются.

### **2.3 Функции и нормы утилитарного и архитектурного освещения в световой среде ночного города**

Оборудование улиц стационарным освещением является одним из главных элементов благоустройства вечернего города и служит для обеспечения безопасной и комфортной световой среды в темное время суток. Общее освещение городских территорий способствует сокращению в 1,5-3 раза вандализма и уличной преступности, в то время как уличное освещение снижает количество дорожно-транспортных происшествий на 30-40%, а несчастных случаев со смертельным исходом на 50% [32]. Это становится возможным благодаря созданию необходимых условий освещения улиц, дорог и площадей с регулярным транспортным движением, которые регламентируются СП 52.13330.2011 и приведены в таблице 1 [33].



Таблица 1 – Нормируемые показатели для улиц и дорог городских поселений с регулярным транспортным движением с асфальтобетонным покрытием

Категория объекта	Класс объекта	Средняя яркость дорожного покрытия $L_{ср}$ , кд/м <sup>2</sup> , не менее	Общая равномерность распределения яркости дорожного покрытия $L_{мин}/L_{ср}$ , не менее	Продольная равномерность распределения яркости дорожного покрытия $L_{мин}/L_{макс}$ , не менее	Средняя освещенность дорожного покрытия $E_{ср}$ , лк, не менее	Равномерность распределения освещенности дорожного покрытия $E_{мин}/E_{ср}$ , не менее
1	2	3	4	5	6	7
А	А1	2,0	0,4	0,7	30	0,35
	А2	1,6			20	
	А3	1,4			20	
	А4	1,2			20	
Б	Б1	1,2	0,4	0,6	20	0,35
	Б2	1,0			15	
В	В1	0,8	0,4	0,5	15	0,25
	В2	0,6			10	
	В3	0,4			6	

**Примечания**

1. Средняя яркость покрытия скоростных дорог независимо от интенсивности движения транспорта принимается 2,0 кд/м<sup>2</sup> в черте города и 1,6 кд/м<sup>2</sup> вне городов на основных подъездах к аэропортам, речным и морским портам.
2. Средняя яркость или средняя освещенность покрытия проезжей части в границах транспортного пересечения в двух и более уровнях на всех пересекающихся магистралях должна быть как на основной из них, так и на съездах и ответвлениях не менее 1,2 кд/м<sup>2</sup>, или 20 лк.
3. Освещение проезжей части улиц, дорог и площадей с покрытием из брусчатки, гранитных плит и других материалов регламентируется величиной средней горизонтальной освещенности.
4. Яркость и освещенность улиц местного значения, примыкающих к скоростным дорогам и магистральным улицам, должны быть не менее одной трети яркости и освещенности скоростной дороги или магистральной улицы на расстоянии не менее 100 м от линии примыкания.

Еще одним из первостепенных элементов благоустройства ночного города является архитектурное освещение. Это перспективная область творческой деятельности в градостроительстве, требующая специфических знаний и опыта. АО способно обеспечить выразительность городских ансамблей и отдельных объектов, подчеркнуть их градостроительное и социально-историческое значение, художественные, стилевые и функциональные особенности. С точки зрения психологии, АО обладает высоким эмоциональным воз-

действием, потому что в памяти людей архитектурный образ увиденный ночью оставляет во многом яркое и запоминающиеся впечатление.

Для создания вечернего светового образа здания могут использоваться два принципиально разных подхода: ассоциативного подобия объекта его «дневному» образу или создание ночного, декоративно-театрального «контр образа», отличающегося от дневного и обладающего собственными выразительными качествами [31]. В большинстве случаев при освещении архитектурных объектов сочетают в разных пропорциях признаки обоих подходов. Исключением являются памятники истории и архитектуры, дневные образы которых уже сложились в сознании людей. При освещении таких объектов световые акценты, целенаправленно делаются на сложные архитектурные элементы, но воспринимаемая световая картина здания при этом лишь немного отличается от дневного вида. Применение второго подхода более продуктивно при освещении современных зданий. Тем не менее, в некоторых случаях красочные ночные эффекты искусственного освещения используют для привлечения туристов в города известные своей историко-культурной самобытностью. Создаются зрелищные световые представления, которые выделяют знаковые архитектурные объекты и памятники – символы национальных и этнических культур. Данные мероприятия являются весьма затратными с точки зрения стоимости затрачиваемой энергии, но расходы окупаются благодаря поступлениям от ночного туризма, которые иногда превышают даже доход от промышленного производства [34].

При создании хорошей видимости и выразительности объекта, недопустимо создание АО раздражающего и слепящего действия на пешеходов и водителей автотранспорта. В связи с этим, согласно таблице 2 [33], нормируется яркость фасадов зданий и сооружений, а так же монументов и элементов ландшафтной архитектуры в зависимости от условий их зрительного восприятия в городской среде.

Таблица 2 – Нормы наружного освещения городских объектов

Категория городского пространства	Место расположения объекта освещения	Освещаемый объект	Заливающее освещение, средняя яркость фасада $L_{\text{ф}}$ , кд/м <sup>2</sup>	Заливающее и акцентирующее освещение, средняя яркость акцентируемого светом элемента $L_{\text{э}}$ , кд/м <sup>2</sup>	Локальное освещение, средняя яркость $L$ , кд/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
А	Парки, сады, бульвары, скверы и пешеходные улицы общегородского значения	Достопримечательные здания, сооружения, памятники и монументы, уникальные элементы ландшафта	5	15	5
Б	Парки, сады, скверы, бульвары и пешеходные улицы окружного и районного значения	То же и характерные элементы ландшафта	3	10	3
В	Улицы и площади, пешеходные дороги местного значения	Памятники и монументы, достопримечательные здания и сооружения	5	10	3
В	Сады, скверы, бульвары местного значения	То же и характерные элементы ландшафта	3	8	3
<p>Примечания 1 Яркость доминантных объектов, обозреваемых с расстояния более 300 м, допускается увеличить до 50 %</p> <p>2 При расположении объекта освещения в окружении неосвещенного пространства норму яркости, приведенную в настоящей таблице, допускается уменьшать до 50 %.</p>					

В распределении света по поверхности освещаемых объектов немаловажную роль играют коэффициенты отражения отделочных материалов зданий, сооружений и монументов. Для стандартных материалов эти параметры прописаны в СП 52.13330.2011. Что касается светотехнических характеристик облицовочных материалов с зеркальным или направленным отражением света, то для решения этих задач требуется в каждом отдельном случае проводить экспериментальные исследования с образцами материалов.

### **Глава 3. Роль освещения в организации искусственной световой среды города**

Необходимость создания благоприятной искусственной световой среды города объясняется постоянно растущим передвижением человека в темное время суток. Наблюдается смещение времени для отдыха и развлечений на вечерний, а иногда и ночной период. По этой причине необходимо создание системы освещения городского пространства отвечающей вопросам как утилитарного и технологического, так и эстетического характера:

- создание комфортных зрительных условий для пешеходов и водителей автотранспорта в пределах определенных зон и расстояний;
- обеспечение архитектурно-художественной выразительности городских объектов и ансамблей посредством декоративной подсветки;
- формирование образной выразительности вечернего города путем создания его единой световой картины [29].

Система светового оформления города это комплекс всех ОУ, освещающих улицы, фасады зданий, памятники, пешеходные дорожки и парковые зоны, а так же предназначенных для освещения рекламных сооружений и т.п. Правильное световое оформление города заключается не только в рациональном устройстве отдельных ОУ, но, самое главное, в удачной координации их между собой. По этой причине появляется необходимость комплексного решения светового оформления города с учетом светотехнических, архитектурно-художественных, экономических и других требований [30]. А задачей архитекторов, инженеров-проектировщиков и светодизайнеров является создание гармоничной, сбалансированной световой среды города, что должно положительно сказываться на зрительном восприятии городской среды [31].

С наступлением вечернего времени зрительно воспринимаемые параметры градостроительного образования почти полностью преобразуются. Причиной этому служит результат воздействия света на человеческий глаз, при котором возникает зрительное ощущение, позволяющее распознавать окружающую

щие предметы, их форму, размеры и цвет. Предметы, находящиеся в неизменной архитектурно-пространственной ситуации, но при различной освещенности могут восприниматься по-разному. Это объясняется светоцветовой адаптацией глаза, работающего в одном из режимов, приведенных в таблице 3 [32].

Таблица 3 - Основные характеристики зрения человека

Характеристики зрения	Основные режимы работы глаза		
	дневное (фотопическое, центральное) зрение	сумеречное (мезопическое) зрение	ночное (скотопическое, периферическое) зрение
Светочувствительные элементы сетчатки глаза	колбочки	колбочки + палочки	палочки
Средние яркости адаптации	высокие яркости, $L \geq 10$ кд/м <sup>2</sup>	малые яркости, $0,01 < L < 10$ кд/м <sup>2</sup>	высокие яркости, $L \leq 0,01$ кд/м <sup>2</sup>
Диаметр зрачка глаза	2 мм	5-7 мм	8-10 мм
Световая чувствительность	относительно малая	относительно большая	наивысшая
Способность к восприятию цветов	хорошее различие всех цветов	голубые и зеленые относительно светлеют, красные темнеют	цвета не различаются, черно-белое видение
Спектральная чувствительность к хроматическим излучениям	максимальная к желто-зеленому [ $V(\lambda) = 1,0$ при $\lambda = 555$ нм] с уменьшением к красному [ $V(\lambda) = 0,0021$ при $\lambda = 710$ нм] и фиолетовому [ $V(\lambda) = 0,0012$ при $\lambda = 410$ нм]	максимальная к голубовато-зеленому ( $\lambda = 520$ нм) с уменьшением в длинноволновой и коротковолновой частях спектра	максимальная к зеленовато-голубому [ $V(\lambda) = 1,0$ при $\lambda = 510$ нм] с уменьшением к красно-оранжевому [ $V(\lambda) = 0,00737$ при $\lambda = 620$ нм] и фиолетовому [ $V(\lambda) = 0,0022$ при $\lambda = 390$ нм]
Способность к различению деталей (острота зрения)	высокая разрешающая способность – хорошая различимость деталей	малая разрешающая способность, мелкие детали не видны	отсутствует, детали не видны
Способность к различению движения	хорошее различение движущихся объектов, видимых размеров	различение движения объектов средних и больших размеров	сохраняется определенная зрительная реакция на относительно крупные движущиеся объекты

Светоцветовая или зрительная адаптация – способность глаза реагировать на различные раздражители посредством фоторецепторов расположенных

в сетчатке глаза. Особенности зрительной адаптации являются основополагающей явлений одновременного и последовательного цветовых контрастов, которые при изменении ощущения цветности достигают 15-20 цветовых порогов. Любая адаптация происходит незаметно для человека, но эффективное использование знаний о ее закономерностях позволяет создавать качественную световую среду при искусственном освещении городов. Различимость любого освещенного объекта в темное время суток зависит от шести основных факторов: яркости, контраста, углового размера, спектра освещения, времени наблюдения и прозрачности воздуха. Изменение любого из этих параметров до нижнего порога приведет к тому, что наблюдаемый объект станет невидимым. По этой причине при проектировании освещения объектов городской среды должны решаться задачи по определению и выбору расчетных параметров для обеспечения хорошей различимости градостроительных образований и панорамных композиций. В городе, с наступлением сумерек в поле зрения начинают попадать объекты с разной яркостью, которыми обычно являются освещенные памятники или фасады зданий и сооружений. Некоторые из освещаемых объектов не соответствуют светокомпозиционным требованиям, что приводит к искажению их восприятия вследствие появления побочных световых раздражителей. Это явление называется зрительной индукцией, которое в зависимости от усиления или ослабления эффекта прямого раздражителя, соответственно делится на положительную и отрицательную индукцию. К отрицательной индукции можно отнести снижение функций зрения при неравномерном распределении яркости или наличие ярких ИС в поле зрения. А причиной снижения зрительных функций, в свою очередь, является возникновение вуалирующей пелены, яркость которой накладывается на зрительное изображение объекта и оказывает сильное влияние на его восприятие. Это явление наблюдается у зданий имеющих невысокие яркости, особенно при их далеком расположении от наблюдателя [32]. Постепенное увеличение расстояния от наблюдателя до освещенного объекта, сопровождается изменением четкости его восприятия. Так, например, со средних дистанций значительно затрудняется рассмотрение мелких архитектурных

турных деталей, а при больших расстояниях различимыми остаются общие только контуры зданий.

### **3.1 Возможности энергосбережения**

Появление в 1960-х годах энергоэффективных натриевых ламп высокого давления (НЛВД) на долгие годы определило желто-оранжевый вид городского освещения (задний план на рис. 3), а также и основное направление энергосбережения — замену широко применявшихся до этого ртутных ламп высокого давления (РЛВД) на НЛВД. Тем не менее в Санкт-Петербурге и Москве доля НЛВД в уличном освещении лишь недавно стала близкой к 100%; в других городах России (таблица) этот процесс еще далек от завершения [16]. Что касается более современных светильников с металлогалогенными лампами (МГЛ) и со светодиодами (LED), они используются в небольших количествах в архитектурнохудожественной подсветке и в малочисленных пилотных проектах.

Такая технология позволяла уменьшить среднегодовое энергопотребление системы освещения на 10% при отключении одной фазы и на 20% при отключении двух фаз, но требовала увеличения количества коммутаций, сокращала срок службы ламп, повышала асимметрию нагрузки и потери в распределительных сетях, снижала надежность работы системы. Кроме этого, пофазное отключение вызывало недовольство водителей и Госавтоинспекции ввиду большой неравномерности дорожного освещения, ухудшающей видимость на ночной дороге, повышающей утомляемость водителей и увеличивающей аварийность. В результате в 1994 году такое энергосбережение было признано нецелесообразным [17] и отменено сначала в Москве, а затем и в Санкт-Петербурге [18]. Однако до 2010 года эта энергосберегающая технология считалась допустимой в руководящем документе по естественному и искусственному освещению — СНиП 23-05-95 (п. 7.44) [19]. Исключение метода пофазного отключения было законодательно закреплено в актуализированной

редакции этого документа — СНиП 23-05-2010, а затем и в своде правил по эксплуатации сетей освещения СП 52.13330.2011 [20].

Такое развитие событий позволяет сделать заключение о том, что не каждое энергосберегающее мероприятие, даже дающее существенную экономию, может быть признано полезным. Действительно важным является получение интегрального экономического эффекта от внедрения новой технологии, на сути расчета которого остановимся ниже.

Основным способом энергосберегающего управления в действующей редакции СНиП 23-05-2010 признан способ регулирования светового потока светильников (диммирование). При этом в ночном режиме работы системы освещения считается допустимым диммирование на 50% от номинального светового потока в вечернем режиме. В простейшем варианте ночной режим устанавливается городскими властями по времени (например, от 1 до 6 часов ночи). Может быть предусмотрен и другой вариант регулирования светового потока, непосредственно связанный с обеспечением безопасности дорожного движения. В этом варианте снижение освещенности дорожного полотна на 30% и на 50% предлагается проводить при уменьшении интенсивности движения автомобилей в 3 и 5 раз соответственно. Причем снижение яркости светильников при низких интенсивностях движения транспорта должно благоприятно сказываться на безопасности ввиду уменьшения ослепляющего воздействия на водителей. Возможности такого диммирования проиллюстрированы графиками на рис. 4. Отметим, что так называемое традиционное управление (пунктирная линия) обеспечивает только включение и выключение НЛВД с электромагнитным балластом (ЭБ) без какого-либо ночного режима, при этом энергопотребление может даже несколько увеличиваться с обычным ночным возрастанием напряжения питания в городских электросетях.



Таблица 4 - Типы ламп, применяемых в городском освещении России (данные 2012 г.) [28].

Вид лампы	Средняя доля ламп (%) по городам с населением (тыс. чел.)		
	50-100	100-500	>500
ЛН*	7	6	<5
РЛВД	55	48	28
НЛВД	38	46	67
МГЛ	около 0	около 0	до 1
LED		<1	

Характерно, что первоначально реализация диммирования в наружном освещении осуществлялась переключением режимов работы ламп. Первым таким способом было уменьшение светового потока ЛВД в каждом светильнике за счет подключения в ЭБ дополнительного дросселя в ночном режиме. При этом суммарное энергосбережение можно довести до 20%. Однако существенное снижение надежности и уменьшение срока службы ламп не позволили данному способу найти широкое применение.



Рисунок 4 - Диммирование в зависимости от интенсивности движения транспорта

Второй технологией энергосбережения при питании ЛВД через ЭБ явилась технология регулирования общего напряжения питания светильников, использующая питающий автотрансформатор с переключающимися обмотками

(автотрансформаторный регулятор). Этим способом можно было добиться снижения энергопотребления также до 20%. В Санкт-Петербурге первый образец подобной осветительной установки проходил опытную эксплуатацию еще в начале 1980-х годов (П. М. Шевкоплясов).

Оба метода использовали для коммутации силовые реле и не получили широкого распространения ввиду низкой эксплуатационной надежности. В дальнейшем применение полупроводниковых силовых ключей (тиристоров и симисторов) позволило их модернизировать, они чаще применялись, но вскоре появились более эффективные технологии энергосбережения [21], основанные на широком распространении электроники в светильниках.

Необходимо отметить, что регулирование напряжения питания линий освещения естественным образом обеспечивает стабилизацию мощности ламп в рабочем режиме, а это сказывается не только на энергосбережении, но и на сроке службы ламп, и важно для получения дополнительного экономического эффекта. Действительно, как уже отмечалось, ночью в городских электросетях нередко превышения напряжения над номинальным значением, достигающие до 15%, при которых срок службы ЛВД уменьшается (рис. 5) до двух раз [22].

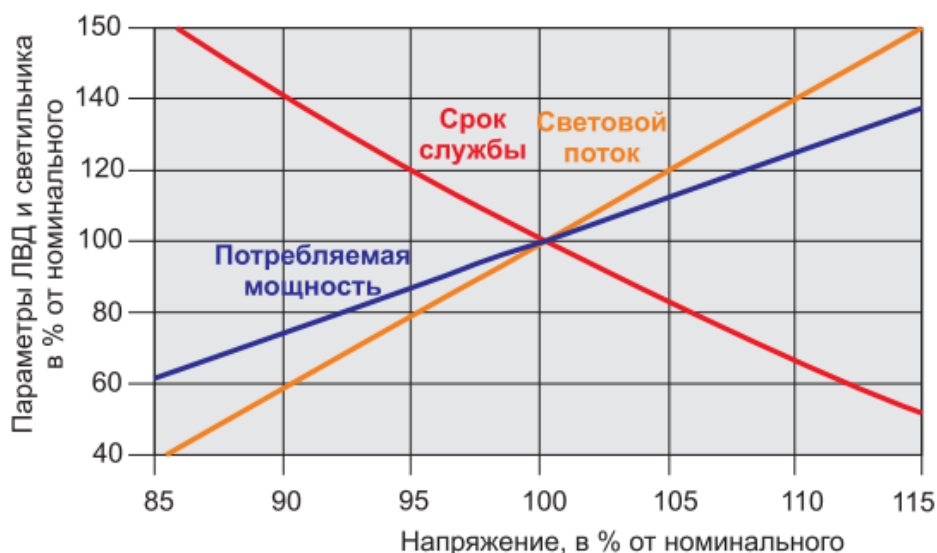


Рисунок 5 - Срок службы и световой поток ЛВД, мощность, потребляемая светильником

Современные же методы энергосбережения в сетях освещения с ЛВД основаны на использовании вместо ЭБ управляемой электронной пускорегулирующей аппаратуры (ЭПРА), которая обеспечивает улучшение ряда важных характеристик сетей освещения традиционного исполнения, в том числе:

- потребление электроэнергии может быть уменьшено до 40% за счет более эффективного преобразования энергии и управления яркостью светильников;
- обеспечена высокая стабильность управляемого светового потока, в том числе при изменениях сетевого напряжения;
- уменьшена деградация ламп и более чем вдвое увеличен срок их службы [21];
- уменьшены сечения проводов и затраты на прокладку сетей;
- обеспечена возможность полной оперативной диагностики светильников;
- увеличен важнейший отчетный показатель организаций, эксплуатирующих городское освещение, — так называемый процент горения;
- пусковые токи сети освещения снижаются до уровня, не превышающего номинальный ток.

Как известно, в традиционных сетях освещения со светильниками с ЛВД и ЭБ пусковые токи превышают значение номинального тока примерно в два раза в течение нескольких минут, требующихся для разогрева ламп. Устранение пускового тока увеличивает надежность сети и позволяет уменьшить сечение проводов.

Один из первых пилотных проектов такой системы с управлением не только ламповыми, но и светодиодными светильниками внедрен в Челябинске. Ряд аналогичных проектов внедряется в Омске, Екатеринбурге, Шахтах и Тюмени.

Более углубленные исследования [21] показали, что диапазон регулирования мощности источников света в зависимости от всех возможных факторов следовало бы существенно увеличить. Действительно, только коэффициент за-

паса по световому потоку при вводе линии освещения в эксплуатацию необходимо задавать на уровне  $K_3 = 1,5 \dots 1,6$ . Этот запас необходим для обеспечения светового потока не ниже номинального в течение времени между чистками светильников.

На рис. 6 показано, что первоначальное диммирование с устранением излишка света и дальнейшее увеличение мощности (по мере известной загрязняемости защитного стекла светильника [23]) дает существенное энергосбережение. Как видно на рисунке, при избранном подходе также компенсируется деградация источника света и оптики. С учетом перечисленных факторов дополнительное энергосбережение без каких-либо значительных материальных затрат может составить еще 15-20%.

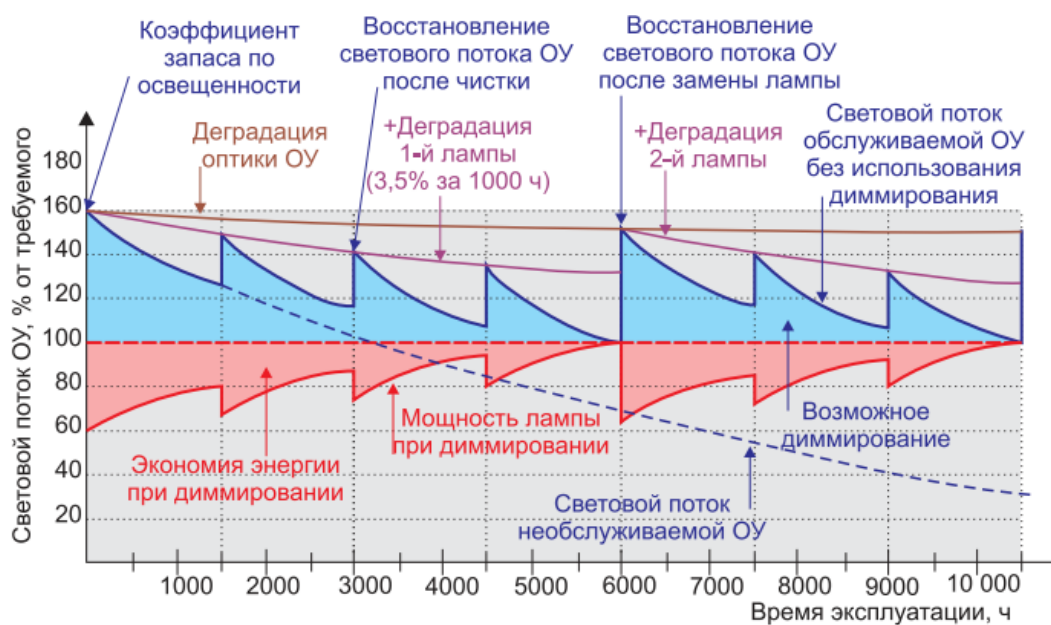


Рисунок 6 - Диммирование в процессе эксплуатации осветительной установки (ОУ)

Для реализации такого управления нам потребуется источник света с коэффициентом диммирования, превышающим  $K_d = 2$ , считавшийся ранее вполне достаточным. Теперь уже нужен  $K_d > K_3 \times 2 = 3,2$ . Здесь под  $K_d$  мы понимаем соотношение между максимальным и минимальным световым потоком источника света (лампы).

На рис. 7 представлены характеристики диммирования современных источников света, используемых в наружном освещении, включая редко применяемые серные лампы (СР) и безэлектродные МГЛ (БМГЛ).

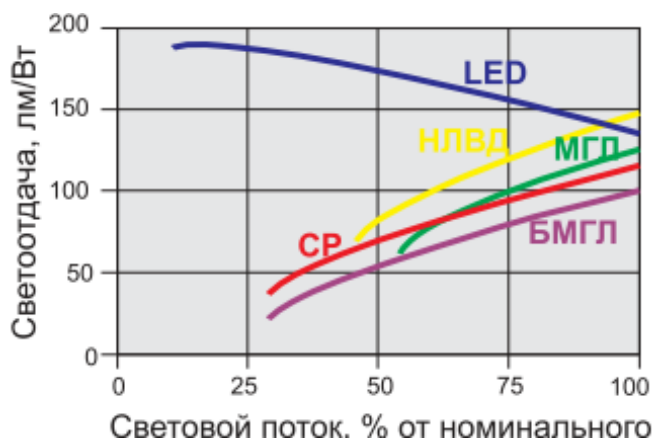


Рисунок 7 - Характеристики диммирования современных источников света

Легко убедиться в том, что при энергосберегающем управлении светильники со светодиодами получают весомое преимущество по отношению к светильникам с любыми другими источниками света. Данное преимущество определяется реализацией большого диапазона диммирования и существенным увеличением энергоэффективности при сниженных световых потоках. Для ЛВД же наблюдается обратная картина — при уменьшении светового потока в два раза световодача падает в среднем в полтора раза.

Интегральная оценка эффективности уличного светодиодного светильника должна учесть и лучшее использование светодиодов для получения кривой светораспределения (КСС) широкого типа (Ш), необходимой для равномерного освещения дорожного покрытия. Кроме этого важно, что по спектральному составу излучения светодиодные источники имеют преимущества перед наиболее энергоэффективными натриевыми лампами. Это достигается за счет того, что специально подобранные характеристики люминофора лучше соответствуют спектральным характеристикам чувствительности человеческого глаза, чем желто-оранжевое излучение паров натрия.

С учетом энергосберегающего управления и всех перечисленных факторов энергоэффективность светодиодного светильника может вдвое превысить аналогичный параметр светильника с НЛВД.

Особо следует отметить, что до недавнего времени в освещении железных дорог России ввиду повышенных требований по безопасности применялись исключительно РЛВД. Поэтому проведение современных энергосберегающих мероприятий дает дополнительные преимущества. Однако в регламентах РЖД отсутствует возможность диммирования, которая пригодилась бы для интеллектуального управления светильниками. Так, освещение пассажирских платформ во время прибытия, стоянки и отправления поездов можно было бы регламентировать на более высоком уровне, чем в отсутствие этих событий.

К сожалению, впечатляющие возможности энергосбережения в городском освещении частично нивелируются более низкими ночными тарифами на электроэнергию. Уменьшение тарифов вызвано тем, что естественное ночное падение энергопотребления не может быть эффективно отработано оперативным сокращением генерируемой мощности на современных тепловых и атомных электростанциях из-за снижения их энергоэффективности в таких режимах. Возможность оперативного регулирования генерации электроэнергии присуща только гидроэлектростанциям, но они производят не более 1/5 электроэнергии всей страны. Современная же возобновляемая энергетика (солнечная и ветровая), широко распространенная в Европе, вообще генерирует электроэнергию непостоянно и с большими перепадами. Это требует применения мощных энергонакопителей, в качестве которых чаще всего применяются гидроаккумулирующие электростанции [24]. Такую структуру генерации могут себе позволить только страны, наиболее передовые в развитии энергетике, такие как Дания и Норвегия.

Используя перечисленные возможности энергосбережения, не стоит пренебрегать и другими способами получения экономического эффекта. Так, применяя системный подход к сбережению различного рода ресурсов, можно получить следующие преимущества:

- увеличение ресурса работы источников света в результате стабилизации питающего напряжения (рис. 3);
- увеличение срока службы светодиодов при диммировании;
- увеличение ресурса работы ламп до двух раз за счет применения более совершенных источников света, таких как двухгорелочные лампы;
- уменьшение затрат на прокладку линии освещения;
- повышение надежности светильников и аппаратуры пунктов питания.

Все это может существенно снизить затраты на обслуживание систем освещения.

Могут использоваться и довольно редкие в наше время мероприятия, которые имеют на первый взгляд неочевидное комплексное воздействие как на энерго-, так и на ресурсосбережение. Например, применение самоочищающегося покрытия защитного стекла светильника дает ощутимый прирост экономического эффекта за счет увеличения не только интервала между чистками светильников, но и реального срока службы ламп. Этот эффект достигается несмотря на то, что такое покрытие ухудшает начальный коэффициент светопропускания защитного стекла на 5-7%.

Как показано в [21], оценка получаемой экономии от ресурсосбережения за все время эксплуатации системы освещения сравнима с экономией от снижения энергопотребления.

Требуется тщательнейший анализ как существующих, так и перспективных возможностей технологий наружного освещения для объективного подсчета суммарного экономического эффекта от внедрения каждой технологии, что позволит осуществить выбор самой «правильной» из них.

### **3.2 Об управляемости сетей освещения**

Управляемость сети освещения подразумевает выполнение диммирования светильников по заранее заложенным сценариям с учетом конкретных условий работы линий освещения. В этих сценариях, кроме ежедневного изме-

нения времени перехода на ночной режим и обратно в соответствии с восходами и закатами солнца, следует учитывать еще ряд факторов. Среди них отметим корректировку режимов при уменьшении интенсивности дорожного движения; сохранение в ночном режиме повышенного светового потока у отдельных светильников (на пешеходных переходах, остановках общественного транспорта и пр.); обеспечение особых режимов при проведении различных мероприятий и при ликвидации крупных аварий; обеспечение парирования частичных отказов в светильниках и т. п. Реализация данных сценариев требует надежной связи с каждым светильником путем создания информационной сети с ячеистой топологией (Mesh Topology). В такой сети может быть достигнута высокая отказоустойчивость за счет шифрации с возможностью восстановления ошибок, самоконфигурирования сети и ее самовосстановления, а также маршрутизации и ретрансляции в каждом узле. В современных системах освещения Mesh-сеть может быть создана на базе беспроводных и проводных технологий. Среди проводных технологий наиболее перспективны варианты PLC-технологий, такие как G3 PLC и PRIME. Среди беспроводных технологий наиболее продвинутой в целях автоматизации является ZigBee.

Обеспечение управляемого диммирования с учетом интенсивности движения автотранспорта возможно как с помощью датчика дорожного движения в составе АСУ наружного освещения (АСУНО), так и по показаниям датчиков, входящих в интеллектуальную городскую транспортную систему. Не запрещено и использование статистических данных.

Необходимо отметить, что при наличии двусторонней связи со светильниками появляется возможность оперативного получения диагностики, необходимой эксплуатирующему предприятию. Диагностика предусматривает фиксацию местоположения отказавших светильников с привязкой к карте города, подсчет объективного значения «процента горения» по каждому пункту питания, эксплуатационному району и городу в целом с разбиением на классы магистралей. Немаловажна и предотказная диагностика. Такая информация является важнейшей для диспетчерской службы, технического отдела и районных



отделений при планировании и управлении ходом ремонтно-восстановительных работ.

Неконкурентоспособными ряд методов управления светильниками, применяемых в отдельных пилотных проектах систем освещения. Отметим следующие отвергнутые варианты: управление светильниками по дополнительно прокладываемым проводам; одностороннее управление по PLC, основанное на введении разного рода управляемых искажений в кривые переменного напряжения; автономное управление с помощью фотодатчиков, ненадежное в наших погодных условиях (недостатки этого варианта подробнее будут рассмотрены ниже).

Важно учесть то, что интеллектуальная система освещения с управляемыми светильниками меняет подход к диагностике на уровне пунктов питания и увеличивает возможности в поиске неисправностей в сетях. Так, в системах управления городским освещением первых поколений широко применяется контроль целостности предохранителей в пункте питания, который заключается в измерении уровня нескольких десятков напряжений, поступающих в отходящие от пункта питания линии освещения. В системах следующих поколений часто применяется контроль энергопотребления по каждому отходящему фазному проводу. Диагностика работы светильников не только устраняет необходимость таких методов контроля, требующих дополнительных проводных подключений, но и обеспечивает проверку целостности линий освещения с точностью до опоры.

В интеллектуальной системе управления оперативно и с высокой точностью обеспечивается также контроль несанкционированных подключений путем непосредственного измерения дополнительной потребляемой мощности.

В случае же санкционированных подключений в пункте питания (например, питание светофоров) и непосредственно на линиях освещения (в частности, питание рекламных стендов и т. п.) учет электроэнергии наиболее целесообразно проводить счетчиками со встроенными PLC-модемами с переда-

чей информации в контроллер пункта питания и далее на сервер диспетчерской службы.

В этой связи актуально объединение коммерческого и технического учета электроэнергии для устранения избыточности, снижения цены решения, а также повышения достоверности и оперативности контроля.

Таким образом, в первых АСУНО основным объектом управления были контакторы, а основным объектом диагностики — предохранители. В интеллектуальных АСУНО объектами управления и диагностики становятся светильники, то есть контроль максимально приближен к конечному результату — освещению объектов городской инфраструктуры.

В наше время каждая новая интервенция энергоресурсосберегающих технологий связана, как правило, с внедрением более дорогих решений, увеличивающих начальные затраты, но дающих (или обещающих) уменьшение эксплуатационных расходов. Ввиду этого важно выработать общепонятный критерий для сравнения различных энергоресурсосберегающих проектов. Совершенно очевидно, что любого рачительного хозяина, эксплуатирующего систему городского освещения, не может удовлетворить критерий минимальной стоимости внедрения проекта, часто являющийся единственным при проведении тендеров по госзакупкам. Оценка по минимальному сроку окупаемости, обычно используемая в упрощенных экономических расчетах эффективности внедрения инновационных технологий, также не может быть признана достаточно убедительной. Действительно, как показано в [21], при одинаковом сроке окупаемости более выгодной следует признать, как это ни покажется странным, технологию с максимальными начальными затратами, поскольку после завершения срока окупаемости она приносит наибольший доход. В использование для сравнения проектов освещения хорошо известный способ оценки инноваций — сравнение по ТСО (Total Cost of Ownership), для которого общепринятым, но не совсем удачным переводом на русский язык является термин «совокупная стоимость владения» [21]. Достоверный расчет по ТСО дает интегральную оценку за весь назначенный срок жизни инновационной технологии.

В упрощенном варианте расчетов, для сокращения количества учитываемых факторов и снижения трудоемкости вполне допустимо провести сравнение по критерию чистого дисконтированного дохода (ЧДД). При этом учитываются начальные затраты, эксплуатационные расходы, плата за электроэнергию, а также прогноз увеличения текущих расходов до конца назначенного срока службы системы. Существенным упрощением расчетов является то, что нам будет достаточно учитывать разницу в затратах по отношению к «базовому» варианту, за который естественно принять широко используемую в России технологию освещения на НЛВД с ЭБ без пофазного отключения в ночном режиме. При проведении НИОКР по интеллектуальной АСУ наружного освещения «АВРОРА+» группой сотрудников ОАО «НИИ точной механики» в 2012 году была проведена переоценка экономической эффективности всех возможных мероприятий по энергоресурсосбережению в перечисленных технологиях, первоначально сделанная в 2010 году [24, 25]. Расчет проводился в привязке к участку освещения Западного скоростного диаметра Санкт-Петербурга длиной 2 км, содержащего 328 светильников и 2 пункта питания. Назначенный срок эксплуатации системы освещения принят равным 12 лет, он близок к нормативному сроку эксплуатации до капитального ремонта. При проведении расчетов предполагалось, что все варианты систем выполнены на самом высоком уровне с применением современной элементной базы без использования мало-надежных элементов с коротким временем жизни (таких как электролитические конденсаторы [21]). Результаты сравнительных расчетов представлены на рис.8.

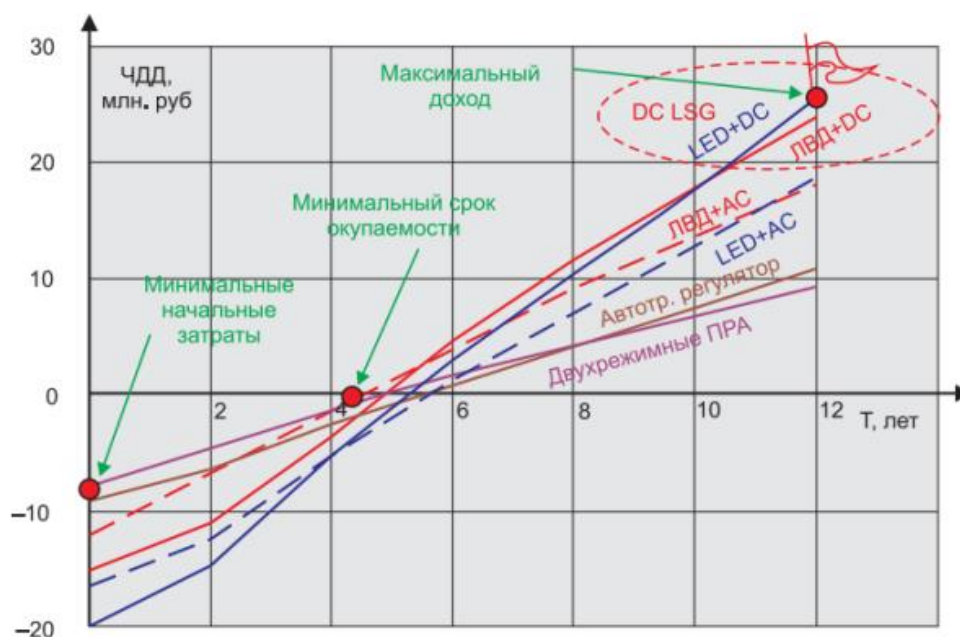


Рисунок 8 - Сравнение различных технологий наружного освещения

Наглядно показано, что при использовании критерия минимальной начальной стоимости проекта для выбора энергосберегающей технологии нам придется выбирать между технологией с двухрежимными ПРА и технологией с автотрансформаторными регуляторами. Если пользоваться критерием минимального срока окупаемости, то у всех рассмотренных технологий эта характеристика примерно одинакова и небольшим преимуществом обладает технология управляемых светильников с ЛВД и ЭПРА на существующих линиях переменного тока.

Критерий ТСО, то есть максимального дохода за назначенный срок эксплуатации, показывает преимущество вариантов управляемых светодиодных и ЛВД-светильников в сетях постоянного напряжения (LED+DC и ЛВД+DC). Небольшая разница между этими технологиями не превышает методической погрешности. При подведении результатов исследования обе технологии были объединены в единую технологическую платформу интеллектуальной сети освещения на постоянном токе DC LSG.

Предстоящее создание интеллектуальной системы освещения ставит перед разработчиками ряд новых задач. Среди них отметим формирование современной PLC Mesh-сети для управления светильниками; нормирование характе-

ристик электромагнитной совместимости светильников различных производителей с PLC Mesh-сетью; создание резервированной городской системы связи пунктов питания с диспетчерской; разработку высоконадежных управляемых драйверов и ЭПРА для функционирования в сложных условиях эксплуатации и т. п. В частности, перед силовой электроникой стоит задача расширения номенклатуры и улучшения характеристик MOSFET-транзисторов в диапазоне средних напряжений 300-400 В для создания более совершенных ЭПРА и драйверов светодиодов.

На технологической платформе DC LSG вполне логичным выглядит пересмотр концепций аварийного и бесперебойного освещения. Очевидно, что для реализации системы аварийного освещения повышенной надежности достаточно будет в состав DC LSG включить накопитель (аккумулятор), не используя каких-либо преобразований из переменного напряжения в постоянное и обратно, как это делается в традиционных источниках бесперебойного электропитания. Дополнительное подключение дизельного или газового электрогенератора позволит также создавать на этой технологической платформе эффективную систему бесперебойного освещения длительного действия с возможностью оперативного управления.

Таким образом, следует констатировать, что развитие управляющей и силовой электроники привело к изменению оценки эффективности трехфазного энергоснабжения сетей освещения, которое считалось «естественным» и единственно возможным в течение более 100 лет. В рамках концепции DC LSG предполагается возврат к более энергоэффективным и удобным интеллектуальным биполярным сетям постоянного напряжения, изобретенным еще в конце XIX века.

### 3.3 Технологии энергоресурсосбережения

В контексте обсуждения возможностей перечислены существующие приемы, методы и технологии, способные оказать положительное влияние на энергоресурсосбережение в сетях освещения. Из этих технологий в нашем перечне достойные места занимают LED- технологии, технологии с ЛВД и управляемыми ЭПРА, а также технологии с двухрежимными ПРА и с автотрансформаторными регуляторами. Все они дают существенное энергосбережение и превосходят традиционные сети с ЛВД+ЭБ по интегральным экономическим показателям.

Обсуждая известные технологии энергоресурсосбережения, мы оставили без внимания единственную не реализованную до настоящего времени технологию. Она явилась результатом исследования, направленного на получение максимального энерго- и ресурсосбережения [25]. Концепция, на которой базируется эта технология, первоначально считалась альтернативной всем существующим.

Суть предложенной концепции заключается в следующих основных положениях [26]:

- электрическая сеть освещения из трехфазной четырехпроводной преобразуется в трехпроводную биполярную сеть постоянного тока (Direct Current — DC);

- из драйверов LED-светильников и из ЭПРА светильников с ЛВД изымаются выпрямители и корректоры коэффициента мощности (ККМ) с выходными конденсаторами, так что управляемый выходной каскад драйвера (или ЭПРА) получает электропитание непосредственно от DC-сети;

- на электроподстанции (или в пункте питания) устанавливается силовой выпрямитель, преобразующий сетевое переменное трехфазное напряжение в постоянное напряжение питания сети освещения;

- управление светильниками осуществляется по технологии передачи высокочастотного сигнала по силовой сети (Power Line Communication — PLC), которая в такой DC- сети имеет определенные преимущества.

Эта концепция была названа автором технологической платформой интеллектуальной системы освещения на постоянном токе (Direct Current Lighting Smart Grid — DC LSG). Необходимо отметить, что в последние годы DC-сети нашли развитие во многих областях, в том числе в крупных серверных центрах, DC-умных домах, энергосистемах коммерческих зданий и кораблей, в солнечных электростанциях, на электроподстанциях (напряжение собственных нужд), наконец, в сетях аварийного освещения [24].

В качестве одного из преимуществ DC LSG рассмотрим переход на питание постоянным током драйвера LED-светильника. На рис. 9 показан драйвер одного из ведущих отечественных производителей, предназначенный для питания от переменного напряжения светодиодного светильника мощностью 150 Вт.

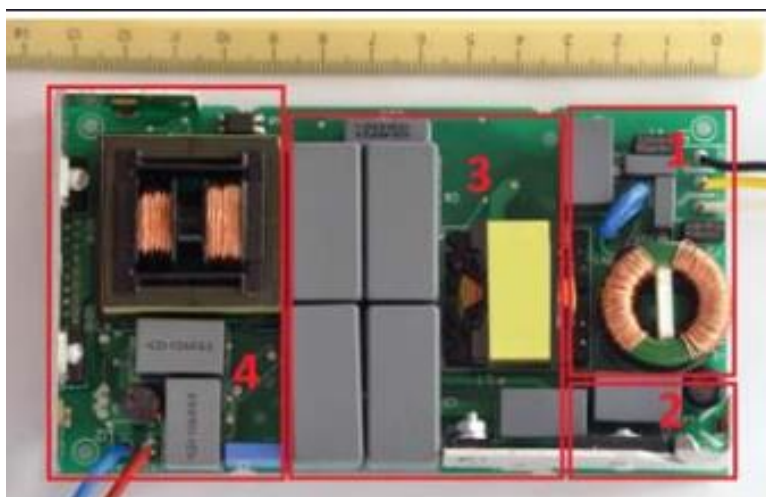


Рисунок 9 - Современный LED-драйвер на 150 Вт

Он состоит из четырех функциональных модулей, а именно входного фильтра (1), однофазного выпрямителя (2), ККМ (3) и выходного конвертера (4). При питании постоянным напряжением нам не потребуются ни выпря-

нитель, ни ККМ. Это позволит существенно уменьшить габариты и стоимость, а также увеличить надежность драйвера.

Переход к питающей сети постоянного напряжения предполагает применение высокоэффективного трехфазного силового выпрямителя взамен полутора сотен однофазных выпрямителей и ККМ в светильниках. Обычно однофазный выпрямитель содержит матрицу из четырех полупроводниковых диодов, а ККМ — один диод и один транзистор. Немного упрощая, можно сказать, что 900 (150x6) маломощных полупроводниковых приборов в светильниках могут быть заменены одним трехфазным выпрямителем в пункте питания, состоящем из шести силовых диодов (например, по схеме А. Н. Ларионова). Таким образом происходит снижение стоимости и повышение надежности светильников и линии освещения в целом. Уменьшается также количество проводов в линии с четырех до трех.

При питании постоянным током обеспечивается и более эффективная передача по силовой сети PLC ввиду отсутствия конденсаторов, компенсирующих коэффициент мощности (обязательных для светильников с ЛВД и ЭБ), и помех от импульсного ККМ (в светильниках с ЭПРА и драйверами). Не самый удачный опыт первых отечественных пилотных проектов с управляемыми ЭПРА показал, что сложности реализации PLC в сети переменного напряжения не были преодолены в полной мере.

Весьма важно и то, что в DC-сетях обеспечивается повышенная электробезопасность для обслуживающего персонала, поскольку постоянное напряжение безопаснее переменного [27]. Существенно уменьшается также вероятность поражения домашних животных (собак) от шагового напряжения токов утечки.

Очевидно, что заявленная технологическая платформа DC LSG в большей степени регламентирует вопросы электропитания, управления и связи, предполагая применение всех существующих и будущих энергоэффективных источников света.



В настоящее время можно считать, что единственным реальным фактором, мешающим внедрению DC LSG, является наличие сторонних потребителей, питающихся непосредственно от линий освещения традиционным одно- или трехфазным переменным напряжением. Однако большинство этих потребителей представляют собой рекламные стенды с подсветкой, которым тип питающего напряжения должен быть безразличен. Многие другие современные нагрузки имеют универсальное напряжение питания. В случае крайней необходимости возможно применение преобразователя (конвертера) постоянного напряжения в переменное. Таким образом, очевидно, что при рассмотрении вопроса о переходе на DC LSG наличие сторонних потребителей не должно иметь абсолютного приоритета. Более того, этот переход может способствовать упорядочению подключений к сетям освещения.

## Глава 4. Дизайн-концепция светового решения жилого микрорайона с помощью энергосберегающих технологий

### 4.1 Объект исследования

Объектом исследования является жилой массив приблизительно площадью 50.000 м<sup>2</sup>, который расположен между улицами Кулева и проспектом Ленина. Представляет собой ряд строений – жилых и административных зданий. Территория объекта пересечена дорогами для перемещения людей и транспорта, как внутри жилого массива, так и с внешних его сторон. Инфраструктура объекта снабжена придомовой территорией с наличием детской площадки, торговых помещений, мест для сбора мусора, зонами перемещения людей, зонами насаждения растений. Объект исследования принадлежит к строениям определенной исторической давности, но с текущим и продолжающимся функционированием, как объектов муниципального назначения.

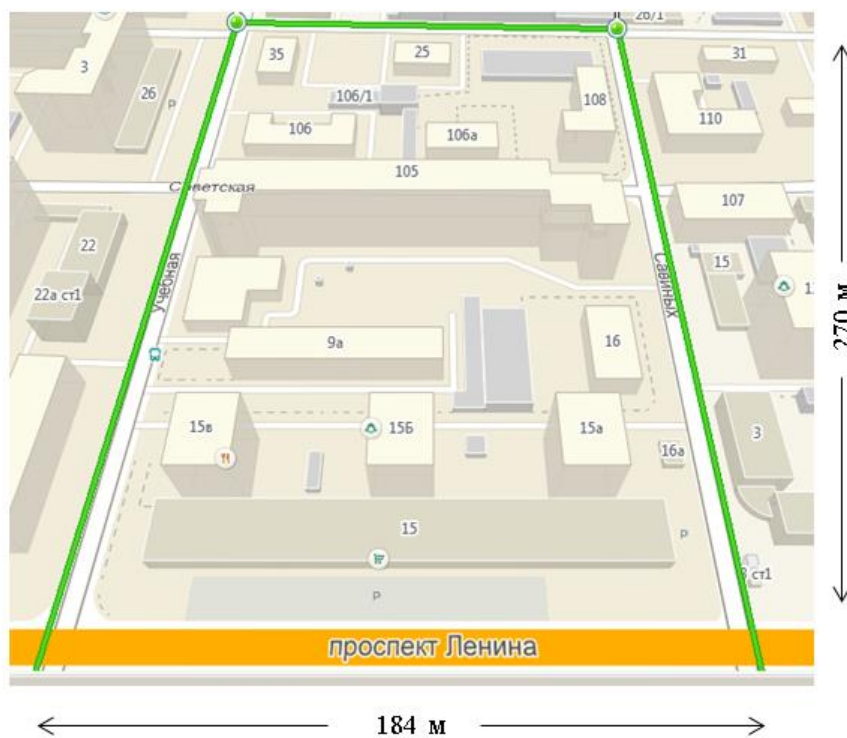


Рисунок 10 - Объект исследования

Соответственно, в ходе данной работы разработана 3D модель жилого массива в программе DIALux. Проведены измерения освещенности/яркости на территории жилых микрорайонов. Представлен дизайн-проект текущего наружного освещения данной территории в программе DIALux.

Сегодня на территории рассматриваемого жилого микрорайона еще ведется строительство, вследствие чего, жилой массив не имеет общего светового ансамбля. По этой причине в данной квалификационной работе предлагается дизайн-концепция светового решения для данного градостроительного образования.

#### 4.2 Представление объекта исследований

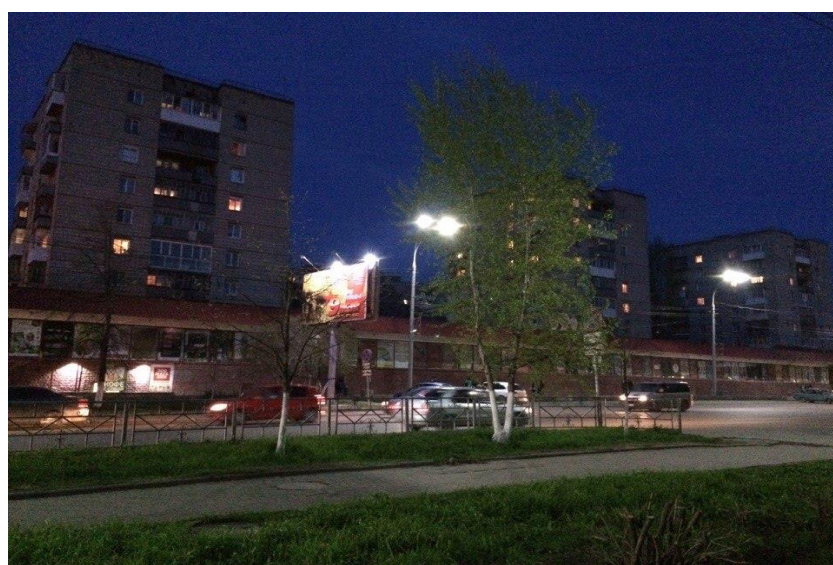


Рисунок 11 - Проспект Ленина (дневное и темное время суток)



Рисунок 12 - Улица Учебная (дневное и темное время суток)

Выбранный в качестве объекта исследования жилой микрорайон относится к приоритетным проектам по формированию жилого фонда города Томска. Микрорайон расположен в центре города, с удобными путями подъезда.

Жилой микрорайон состоит из четырех 9-и этажных домов, одного 5-и этажного дома с различной планировкой и 2 административного здания. Предложенные фотографии (рис. 11 -14) демонстрируют фрагменты улиц и зданий, расположенных на заданной территории жилого массива.

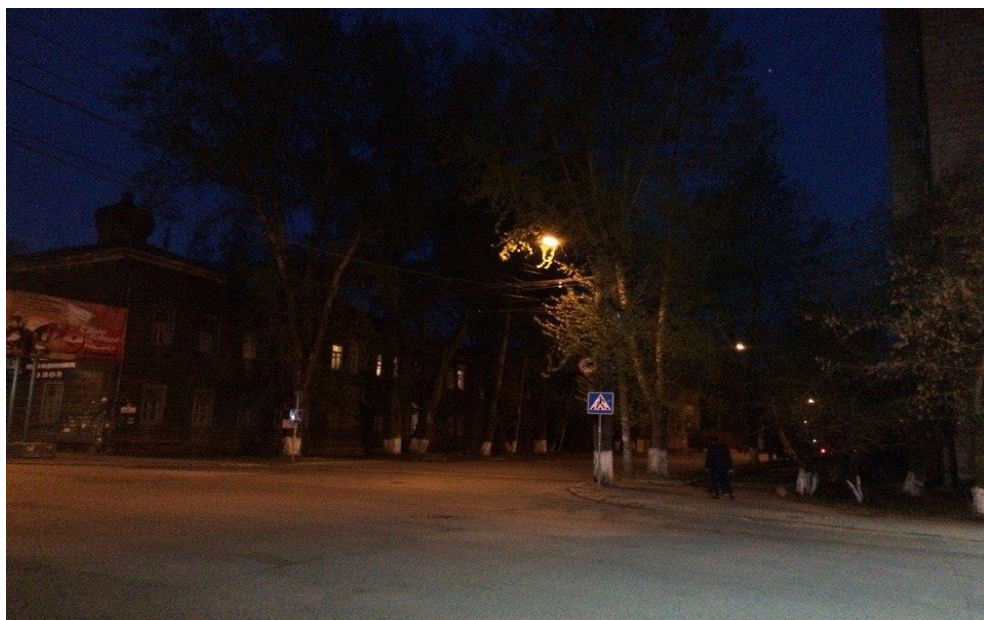


Рисунок 13 - Улица Советская (дневное и темное время суток)

Рядом есть комплекс жилых домов и расположенных вблизи них учреждений повседневного культурно-бытового обслуживания населения.

Категория жителей, проживающая в данном микрорайоне самая разная от «старожил» - людей пожилых и давно живущих в этих домах, до молодых семей, которые свой вечерний досуг проводят, в основном, прогуливаясь с детьми по микрорайону, что обуславливает создание на его территории структурированного и комфортного наружного освещения.

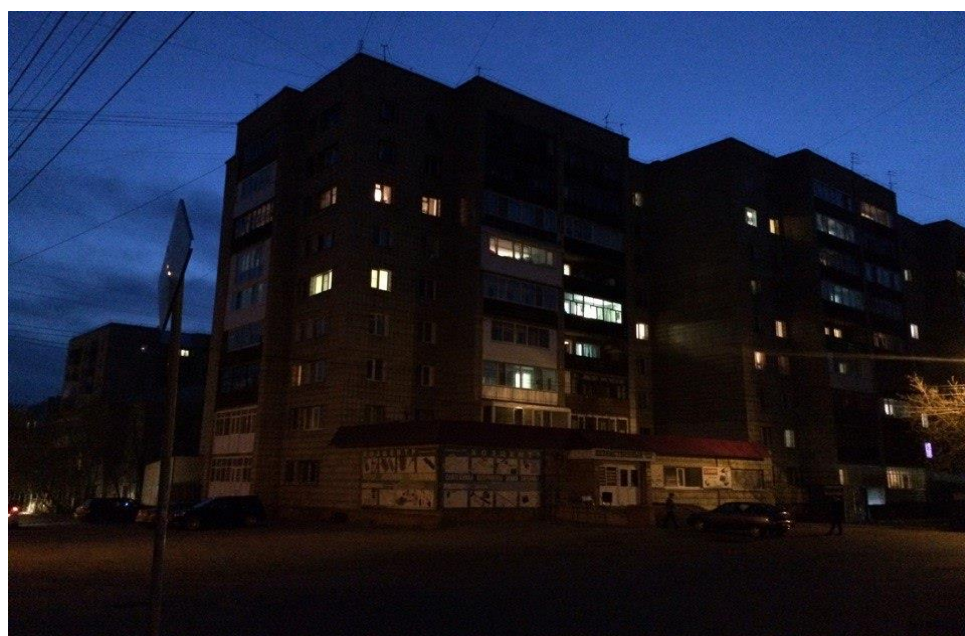
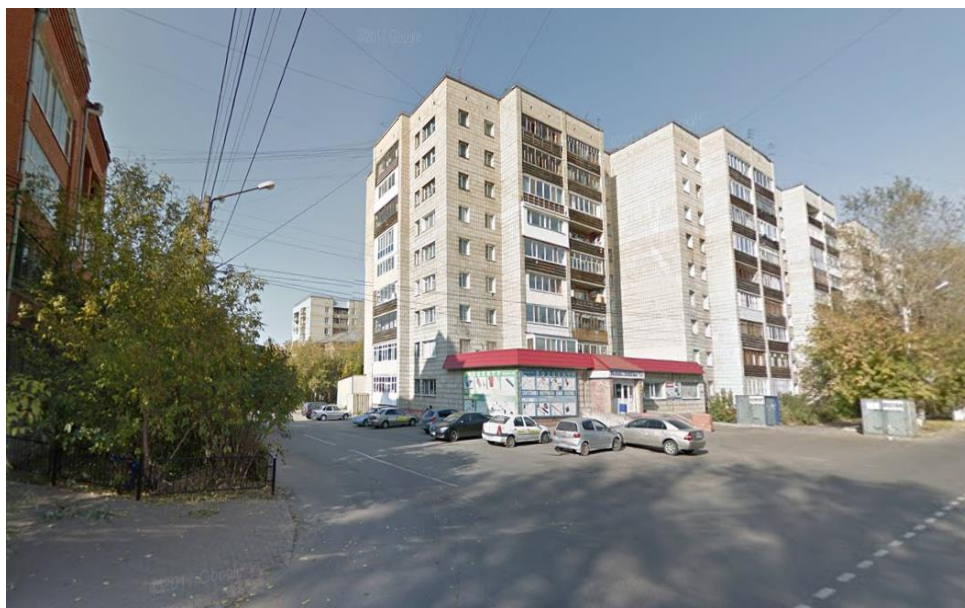


Рисунок 14 - Улица Савиных (дневное и темное время суток)

Помимо жилых домов с комфортными и уютными квартирами в нем еще располагаются административные здания, благоустроенные дворы, придомовые территории, с расположенными на них детской площадкой и вариантами озеленения.

### 4.3 Анализ результатов измерений объектов на территории жилого массива

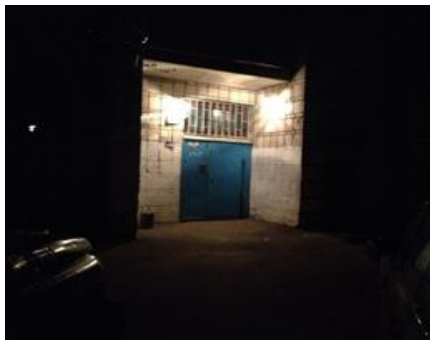
На рисунке представлены фото снимки жилого дома №105 в дневное и в темное время суток. У жилого дома имеются шесть подъездов, пять из которых оснащены компактными люминесцентными лампами (рис. 17-21) и один лампой накаливания (рис. 16). Высота расположения ламп составляла у первого подъезда 2,5 метров, а у 2-6 подъездов 4 метра. Измерения проводились в темное время суток в 23:00. Самое большое значение средней освещенности была зафиксирована у подъезда № 4 (рис. 19) оснащенный компактной люминесцентной лампой и составлял 3,95 люксов, которое не соответствует нормам освещения придомовой территории, которая должна составлять 10 люксов [20].



а) время: 18:30 pm, дата 22.04.2017      б) время 23:00 pm, дата: 22.04.2017

Рисунок 15 - Улица Советская, дом 105

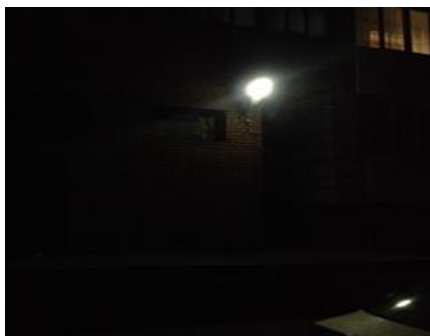
Для расчета текущего освещения при домовый территории и улицы Советской, как показано на рисунках 16-22, необходимо ввести проект тип и количество светильников, а также задать их расположение. По результатам измерений была построена модель существующей ОУ, фрагмент, которой можно видеть на рисунках (16-21) для каждого из подъездов 9-ти этажного многоквартирного дома.



0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1	1	0	1	0.00	0.00
0.00	2	2	1	2	0.00	0.00
0.00	3	3	2	3	0.00	0.00
0.00	5	6	5	4	0.00	0.00
0.00	8	13	12	12	0.00	0.00
0.00	18	24	20	18	0.00	0.00



Рисунок 16 - Подъезд №1, источник света ЛН



0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2	2	1	0.00	0.00	0.00
3	2	2	1	0.00	0.00	0.00
5	2	2	1	0.00	0.00	0.00
3	3	2	1	0.00	0.00	0.00
2	2	2	1	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

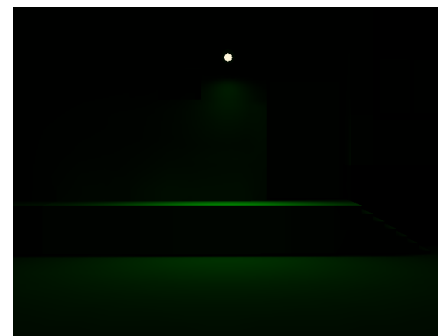


Рисунок 17 - Подъезд №2, источник света КЛЛ



2	3	1	1	0.00	0.00	0.00
4	5	2	2	1	0.00	0.00
3	5	3	2	1	0.00	0.00
4	6	2	2	1	0.00	0.00
3	6	3	2	1	0.00	0.00
1	2	1	1	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

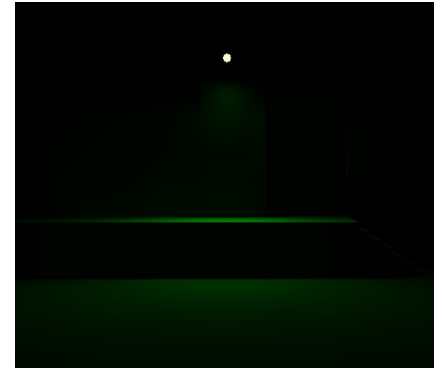
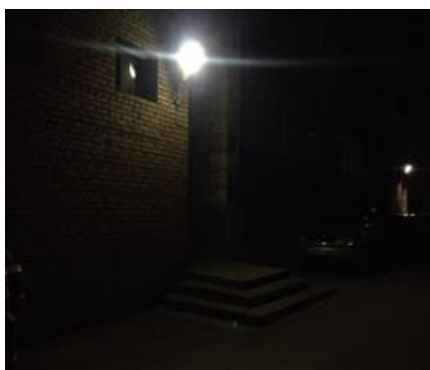


Рисунок 18 - Подъезд №3 источник света КЛЛ



0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2	2	1	1	0.00	0.00
3	4	5	3	2	0.00	0.00
6	7	9	6	5	2	0.00
7	9	9	7	6	2	0.00
8	9	9	8	6	1	0.00
10	12	10	7	6	1	0.00
9	11	10	6	7	1	0.00
7	9	9	5	6	1	0.00
4	8	7	4	6	1	0.00
1	3	2	1	1	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

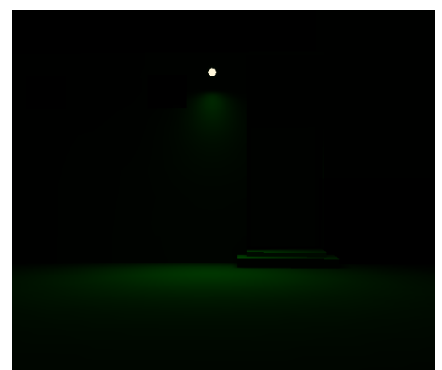


Рисунок 19 - Подъезд №4 источник света КЛЛ



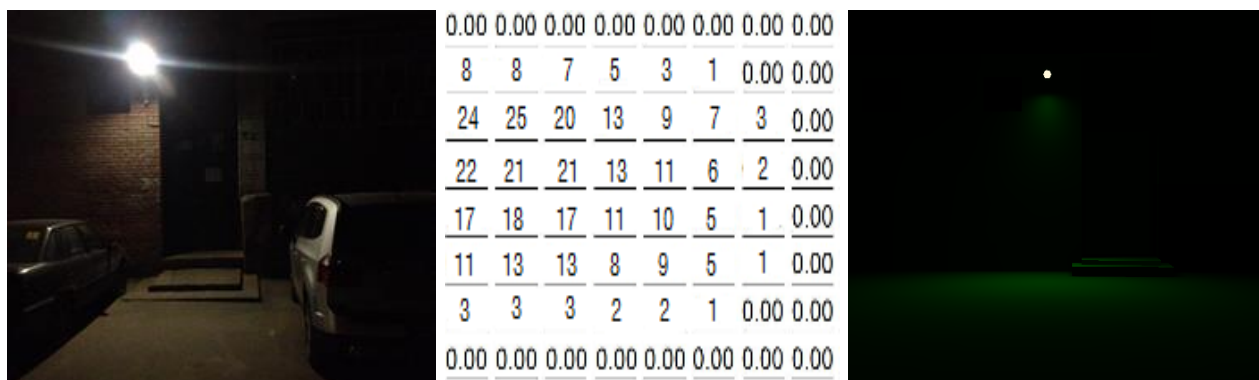


Рисунок 20 - Подъезд №5 источник света КЛЛ

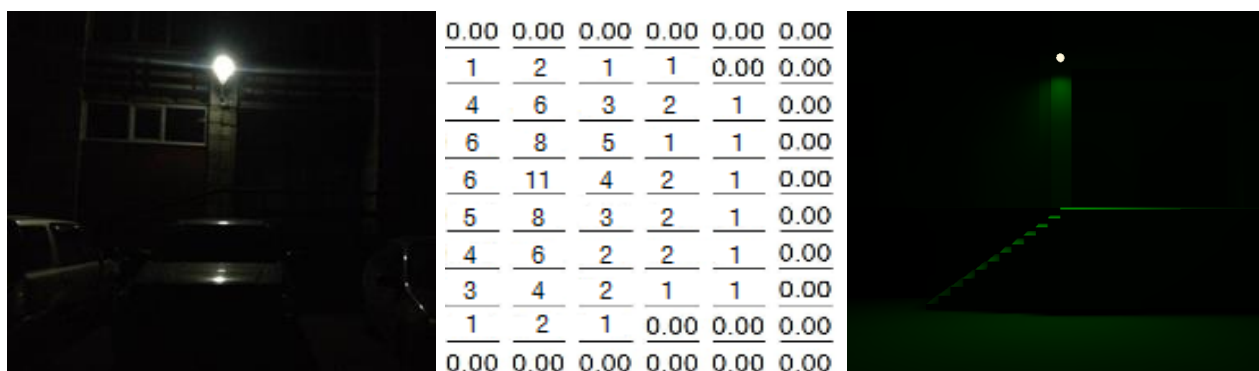







Рисунок 21 - Подъезд №6 источник света КЛЛ

Таблица 5 – Текущие световые приборы

№	Здание	Адрес	Состояние осветительного оборудование	
			Количество СП	Вид
1	Жилой дом, 9 этажей	Советская, 105	6	
2	Жилой дом, 4 этажа	Ленина проспект, 9а	4	
3	Жилой дом, 9 этажей	Ленина проспект, 15а	1	

Продолжение таблицы 5

4	Жилой дом, 9 этажей	Ленина проспект, 15б	1	
5	Жилой дом, 9 этажей	Ленина проспект, 15в	1	

Анализ текущего осветительного оборудования по подъездам сведено в таблицу 5 для демонстрации отсутствия в настоящее время энергосберегающего оборудования. Дополнительно, на рисунке 22 представлены фото-снимки светильников ДНаТ, уличного освещения на улице Советской. Светильники находятся на высоте 7 метров и расположены через каждые 30 метров. Средняя освещенность светильников составляет 17,15 люксов (рис. 22), которое не соответствует нормам уличного освещения [20]. Состояние текущего качества и формирование пространственной освещенности показано на рис.22.



Рисунок 22 - Улица Советская, источник света ДНаТ (время 01:30 pm, дата: 23.04.2017)

В Томске в ночное время более или менее хорошую архитектурную подсветку имеют здания расположенные в центре, которыми в основном являются административные и офисные здания, учебные корпуса, а так же развлекательные комплексы. А жилые микрорайоны, являющиеся в дневное время жемчужинами городского пространства, с наступлением вечера теряют свою образную выразительность и освещаются лишь стационарным уличным освещением.

При создании световой среды жилых микрорайонов, освещение в таких районах должно быть спокойным и расслабляющим, создавать атмосферу домашнего тепла и уюта. Здесь люди, работающие в деловом центре или промышленном районе, в вечернее время предпочитают отдыхать от тяжелого трудового дня, выходя на прогулки в парки и скверы, в которых необходимо обеспечить правильное освещение.

Томск, как и многие другие города России, имеет сложную архитектуру, сочетающую в себе деревянную и каменную архитектуру прошлого и многоэтажные современные строения, которая формировалась на протяжении четырех веков. Таким образом, город имеет две основные градостроительные части: историческая и современная.

К анализу текущей ситуации по освещению и наличию осветительного оборудования на территории заданного жилого массива следует обратить на следующие моменты при создании нового облика:

1. В вечернее время в городе наблюдается неоднородность наружного освещения, так как более или менее хорошую архитектурную подсветку имеют здания расположенные в центре, а многие жилые массивы в городе освещаются лишь уличным освещением.

2. Для создания общей гармоничной световой среды Томска необходимо создать образную выразительность жилых микрорайонов посредством структурированного наружного и утилитарного освещения.

3. В микрорайонах города необходимо создать структурированное освещение их внутренних пространств. При этом нужно разделить районы на

парковую зону, проезжую часть и автостоянки, так как их освещение должно быть предназначено для разного рода деятельности.

#### **4.4 Создание трехмерной модели и расчет текущего освещения в программном комплексе DIALux**

Программный комплекс DIALux версия 4.12 позволяет сделать светотехнический расчет с учетом всего светового потока, материалов отражающих и поглощающих поверхностей и т.д. Однако начальным этапом работы с программой и объектов является построение трёхмерной модели объекта, результат реализации показан на рис.23 (схема представлена ранее на рис.10, раздел 4.1 глава 4).



Рисунок 23 - Трёхмерная модель жилого массива

Как видно из рисунка 23, при создании наружной сцены в программе DIALux, трёхмерные модели зданий строятся с помощью стандартных элементов, путем задания им необходимых размеров и геометрической формы.

Для расчета наружного и уличного освещения, как показано на рисунках 24, 25, 26 и 27 необходимо ввести проект тип и количество светильников, а также задать их расположение.

В настоящей работе предлагается вариативность проектных решений для данного объекта, с целью показать возможности и подходы в реализации оптимального проектного решения.

На рисунке 24 показано первый вариант ОУ наружного освещения жилого массива, замена существующих осветительных приборов на светодиодные источники света STAR NBT LED. Преимущество данного ОУ является, освещение только передней части подъезда, а освещение зоны перемещение людей, пешеходных переходов осложняются из-за малого светового потока, что является основным недостатком ОУ.

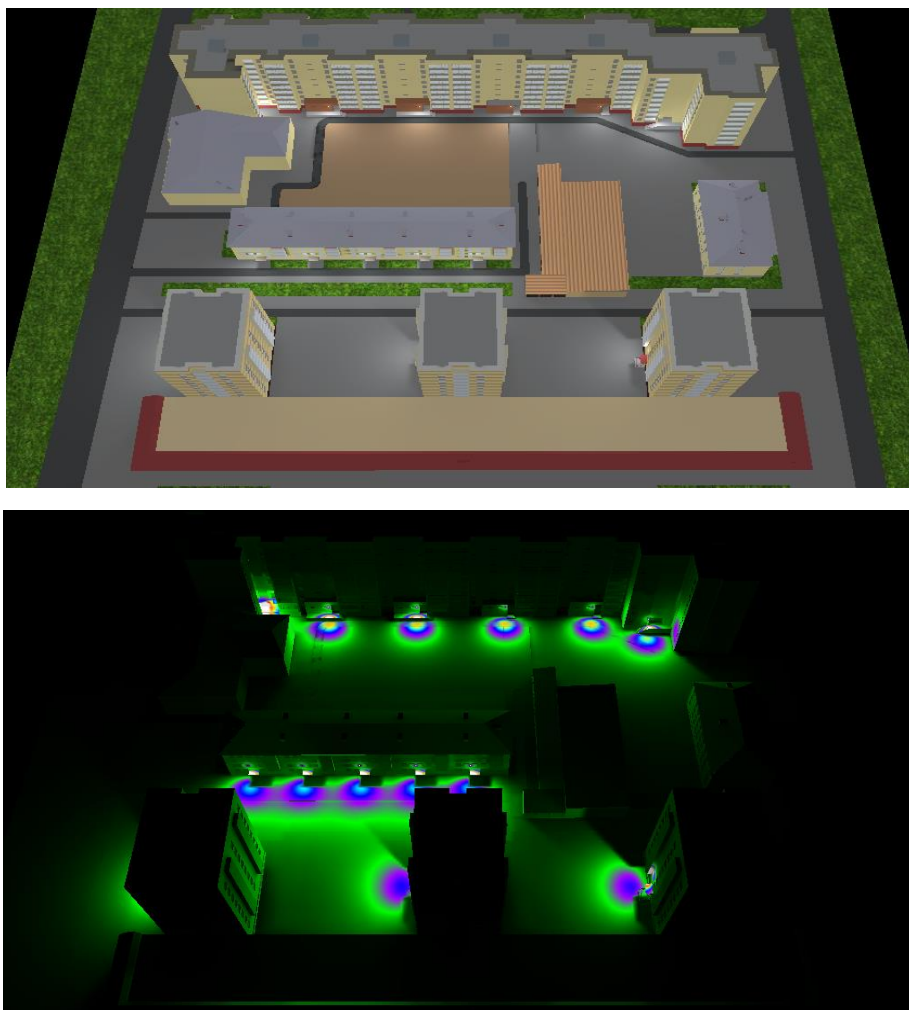


Рисунок 24 – Первый вариант ОУ. Наружное освещение жилого массива

На рисунке 25 показано второй вариант ОУ наружного освещения жилого массива с помощью светодиодных источников света LIGHTING TECHNOLOGIES ATHINA LED и MARK LED. Преимущество данной ОУ является, одновременное освещение все части жилого массива (вход в подъезд, зона перемещение людей, детская площадка, пешеходные переходы и т.д.). К недостатком можно отнести:

- при уменьшении потока людей, светильники которые освещают зоны перемещение людей не отключаются, из-за этого потребность в электроэнергии увеличиваются и энергоэффективность уменьшается.

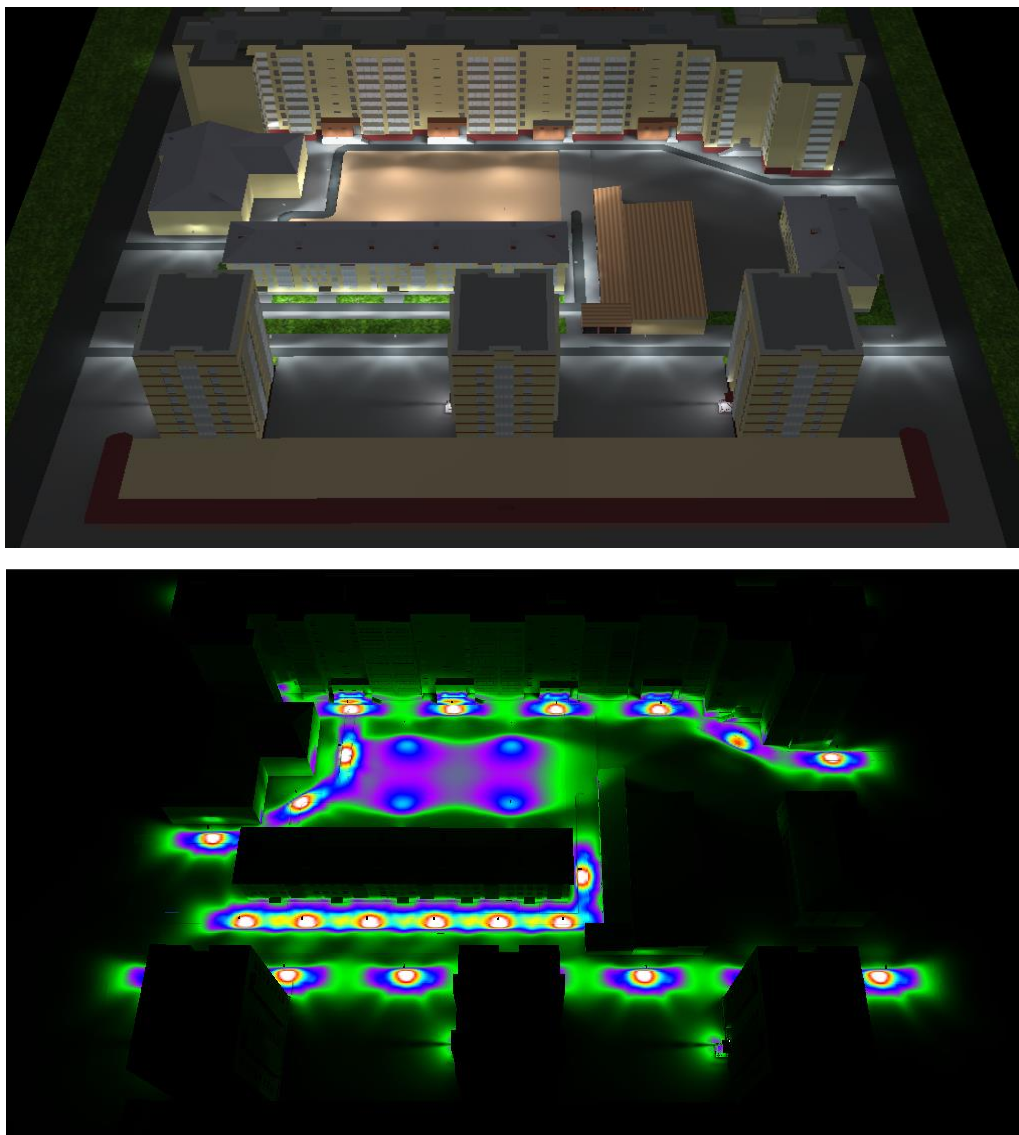


Рисунок 25 – Второй вариант ОУ. Наружное освещение жилого массива

На рисунке 26 показано третий вариант наружного освещения жилого массива с автоматизированной системой управления (АСУНО) DC LSG. Преимущество данной ОУ является, одновременное освещение все части жилого массива (вход в подъезд, зона перемещение людей, детская площадка, пешеходные переходы и т.д.). При уменьшении потока людей с часу ночи до шести утра, происходит уменьшение светового потока осветительных устройств зоны перемещение людей и отключаются светильники которые освещают детскую площадку. Недостатком можно называть дороговизна реализации данного проекта.

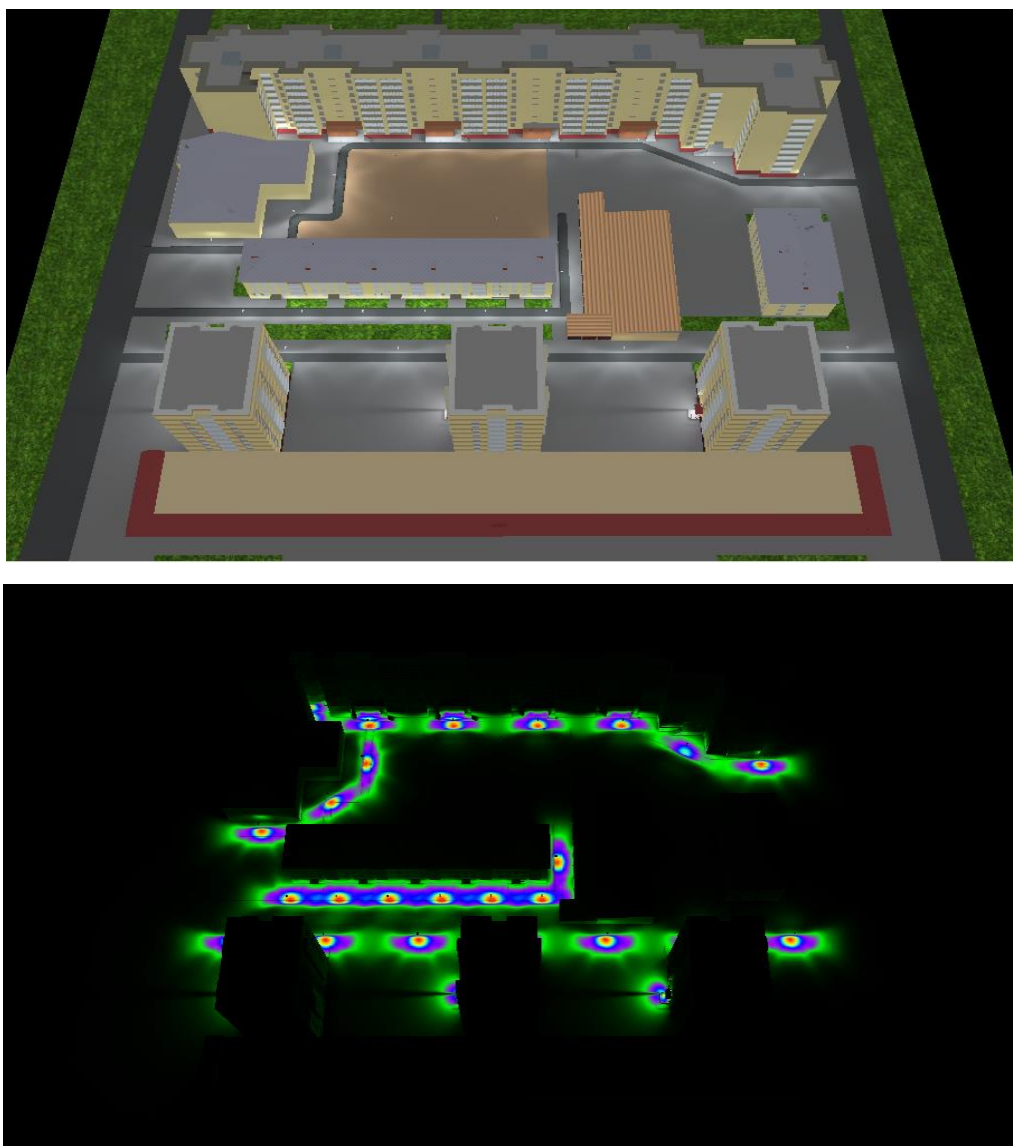


Рисунок 26 – Третий вариант ОУ. Наружное освещение с АСУ

При этом объектами городской среды в большей своей массе энергопотребления являются объекты жилищно-коммунального хозяйства, где потребности электрического освещения достаточно высоки, но недостаточно сформированы. Не исключен из обихода свет ламп накаливания, газоразрядных источников света, которые не обеспечивают нужной цветопередачи, или продолжают «трудиться» в режиме невыключения в дневные часы. Тот или другой подход не обеспечивает ни комфортного освещения, ни экономии потребляемых энергоресурсов.

Очевидно, что заявленная технологическая платформа DC LSG в большей степени регламентирует вопросы электропитания, управления и связи, предполагая применение всех существующих и будущих энергоэффективных источников света.

В настоящее время можно считать, что единственным реальным фактором, мешающим внедрению DC LSG, является наличие сторонних потребителей, питающихся непосредственно от линий освещения традиционным одно- или трехфазным переменным напряжением.

Таким образом, очевидно, что при рассмотрении вопроса о переходе на DC LSG наличие сторонних потребителей не должно иметь абсолютного приоритета. Более того, этот переход может способствовать упорядочению подключений к сетям освещения.

Для создания наружного освещения рассматриваемого жилого массива были использованы светильники, приведенные в таблице 6.

Таблица 6 – Ведомость светильников

Тип ИС	Наименование	Световой поток, лм.	Потребляемая мощность, Вт.	Количество, шт.
Светодиодный	Lighting Technologies Athina Led	3868	62	23
Светодиодный	Lighting Technologies Star Nbt Led	1540	18	4
Светодиодный	Lighting Technologies Mark Led	6461	56	9



При проектировании освещения улицы Советской, выполнено сравнение нескольких типов светильников разных фирм, которые были выбраны произвольно. Согласно СП 52.13330.2011, рассматриваемая дорога относится к категории Б1, где средняя освещенность должна быть не менее 20 лк. Результаты сравнения приведены в таблице 7.

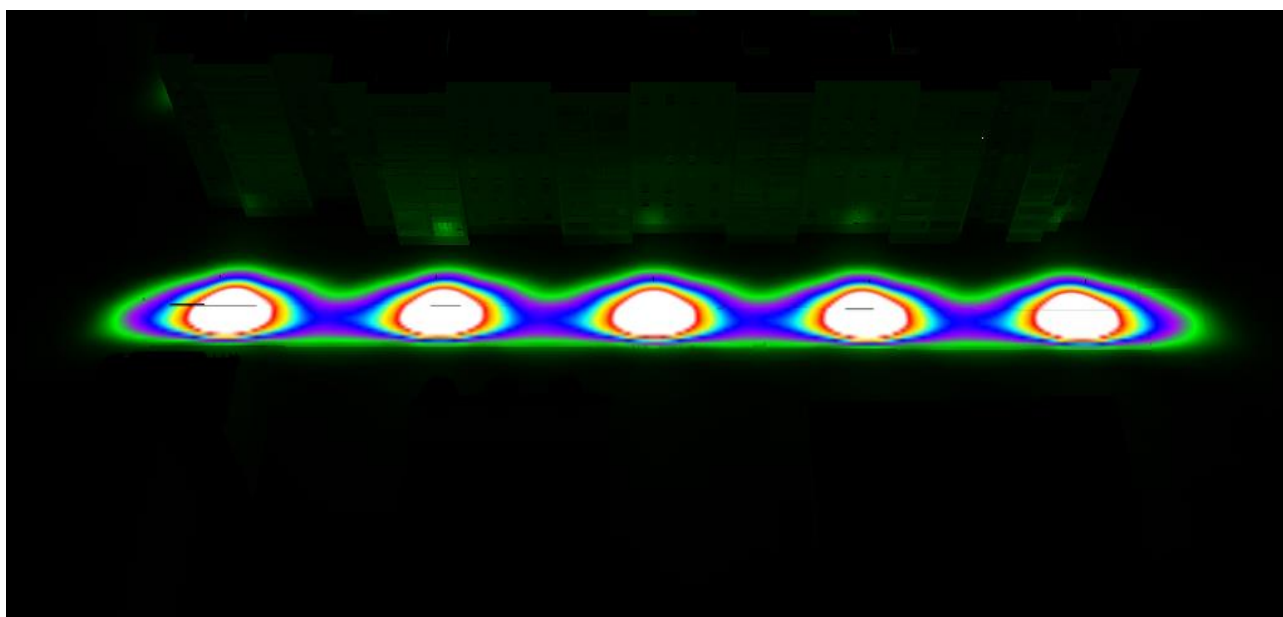


Рисунок 27 - Освещение улицы Советской

Таблица 7 – Результаты сравнения светильников

Тип ИС	Наименование светильников	Е <sub>ср</sub> , лк	Е <sub>min</sub> , лк	Е <sub>max</sub> , лк	Е <sub>min</sub> / Е <sub>ср</sub>	Е <sub>min</sub> / Е <sub>max</sub>
Светодиодный	Ledel l-street 72xpg/12636/135/ш4/cr	13	9,68	16	0,762	0,615
ДРИ	Galad гку12-150-001	11	6,03	17	0,551	0,363
ДНаТ	Lighting technologies Corvus ntk 10 150s	15	8,54	24	0,56	0,363
Светодиодный	Lighting technologies mark led 60 w 4000k	22	15,4	27	0,7	0,57

Сравнение светотехнических показателей для освещения выбранного участка дорог показал, что оптимальным светильником для установки на данном участке является Lighting Technologies MARK LED 60 W 4000K.

На технологической платформе DC LSG наружное освещение вполне хорошо выглядит. Дополнительное подключение дизельного или газового электрогенератора позволит также создавать на этой технологической платформе эффективную систему бесперебойного освещения длительного действия с возможностью оперативного управления.

Таким образом, следует констатировать, что развитие управляющей и силовой электроники привело к изменению оценки эффективности трехфазного энергоснабжения сетей освещения, которое считалось «естественным» и единственно возможным в течение более 100 лет. В рамках концепции DC LSG предполагается возврат к более энергоэффективным и удобным интеллектуальным биполярным сетям постоянного напряжения, изобретенным еще в конце XIX века.

Весьма важно и то, что в DC-сетях обеспечивается повышенная электробезопасность для обслуживающего персонала, поскольку постоянное напряжение безопаснее переменного [27].

Очевидно, что заявленная технологическая платформа DC LSG в большей степени регламентирует вопросы электропитания, управления и связи, предполагая применение всех существующих и будущих энергоэффективных источников света.

#### **4.5 Электрический расчет осветительной сети**

В систему освещения объекта входят все осветительные установки, а также сеть их питания и управления (включая щитки управления). Схема электрической сети для выбранного способа освещения разрабатывается после окончательного утверждения спецификации приборов, их размещения и режимов работы. Вся система делится на группы согласно их размещению, потреблению энергии и режимам работы. Для каждой группы рассчитывается питающая сеть, путь прокладки кабеля, способы автоматического или ручного управления.

На основании значений электрических нагрузок осуществляется расчет осветительных сетей и выбор электрооборудования. Сечение проводника в сети до 1000В, в основном, зависит от величины расчетного тока. Также на этот параметр, влияют необходимость защиты сети от перегрузки, температурные условия окружающей среды, тип изоляции проводника и т.д.[48].

Расчетные токи, а также распределения нагрузок по ТП приведены в таблице 8. На основании этих данных был произведен выбор сечений питающих кабелей и коммутационных аппаратов. Для групп ОП питающихся:

- от ТП №1 был выбран кабель марки ВВБ 4х2,5 и автоматические выключатели марки iEK ВА 47-63 10А;
- от ТП №2 была выбрана марка кабеля ВВБ 4х2,5 и автоматические выключатели iEK ВА 47-63 2А.

Для наглядной демонстрации схемы питания ОУ была построена однолинейная схема, а также прорисована трассировка кабелей. Чертежи приведены в приложении Б.

Таблица 8 - Значения нагрузок и расчетных токов

№ гр.	№ ТП	Наименование ЭП	Кол-во ЭП	Устан. мощность Руст., кВт	K <sub>c</sub>	Cos φ	Расчетная мощность			Расч. ток I <sub>p</sub> , А $I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}$ ; $I_p = \frac{S_p}{U_H}$
							Активная P <sub>p</sub> , кВт $P_p = K_c \cdot P_{уст}$	Реактивная Q <sub>p</sub> , квар $Q_p = K_c \cdot P_p \cdot tg\phi$	Полная S <sub>p</sub> , кВА $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	
1.1	1	LIGHTING TECHNOLOGIES ATHINA LED	9	0,062	1	0,95	0,558	0,183	0,58	2,63
		LIGHTING TECHNOLOGIES MARK LED	4	0,056	1	0,93	0,224	0,088	0,24	1,09
		LIGHTING TECHNOLOGIES STAR NBT LED	1	0,018	1	0,85	0,018	0,011	0,02	0,09
1.2		LIGHTING TECHNOLOGIES ATHINA LED	14	0,062	1	0,95	0,868	0,285	0,91	4,13
		LIGHTING TECHNOLOGIES STAR NBT LED	3	0,018	1	0,85	0,054	0,033	0,06	0,27
2.1	2	LIGHTING TECHNOLOGIES MARK LED	5	0,056	1	0,93	0,28	0,11	0,3	1,36
		Итого		2			2	0,71	2,11	

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

### **Введение**

В данном разделе рассматривается экономический эффект от проектирования освещения жилого массива города Томска с использованием энергосберегающих технологий.

Объект исследования является жилой массив приблизительно площадью 50.000 м<sup>2</sup> который расположен между улицами Кулева и проспектом Ленина. Целью настоящей работы является создание структурированного наружного освещения жилых комплексов с целью повышения качества световой среды при использовании энергосберегающих технологий.

Цель данного пред-проектного анализа – рассчитать расходы на реализацию освещения, включающие в себя стоимость оборудования, заработную плату рабочих, амортизационные отчисления от стоимости основных фондов, затраты на потребляемую электроэнергию, расходы по обслуживанию и наладке ОУ.

### **5.1 Расчет трудоемкости проектирования освещения и монтажных работ**

В рамках этого этапа проводится расчет затрат времени на выполнение работ по проектированию и установке освещения. Все работы можно разделить на 2 группы: составление необходимого перечня работ и ее кодирование; установка оценок времени продолжительности работ.

### 5.1.1 Расчет стоимости проектных работ

При расчете себестоимости проекта по освещению необходимо рассмотреть следующий перечень работ:

1. Разработка дизайна освещения;
2. Построение трехмерной модели в специальных программах;
3. Выбор световых приборов;
4. Электрический расчет;
5. Монтаж оборудования и светильников.

Стоимость работ по созданию светотехнического проекта, приведенная в таблице 5.1, зависит от разных параметров, среди которых основную роль играют размер объекта, сложность его формы и площадь объекта.

Таблица 9 - Исходные данные

Проект	Наружное освещение
Сложность светотехнического проекта	Многоэтажное здание простой формы
Сложность электротехнического проекта	Интеграция системы освещения в существующую сеть, схемы вкл. и выкл. и управления освещением, сценарии освещения и т.д.
Площадь	50000 м <sup>2</sup>

Таблица 10 - Результаты расчета

Дизайн проект	564 €	36270 р.
Рабочий светотехнический проект	1334 €	85700 р.
Электротехнический проект	464 €	29840 р.
Сметная документация	46 €	2970 р.
Итого	2409 €	154780 р.

## 5.1.2 Оценка времени продолжительности работ по работке дизайна освещения

Для расчета ожидаемого времени выполнения работ возьмем значения времени выполнения при благоприятных условиях и при неблагоприятных условиях и произведем вычисления, взяв среднее арифметическое от оптимистичной и пессимистичной оценок.

На светотехнические и монтажные работы будет затрачено максимально 56 дней (с 10 марта по 5 мая) при следующих исходных данных:

$$T_{\text{ож}} = \frac{T_{\text{min}} + T_{\text{max}}}{2} \quad (5.1)$$

Где,  $T_{\text{ож}}$  – ожидаемое время продолжительности работ

$T_{\text{min}}$  – оценка при наиболее благоприятных условиях

$T_{\text{max}}$  – оценка при наиболее неблагоприятных условиях

$$T_{\text{ож}} = \frac{30+56}{2} = 43$$

Ожидаемое время выполнения работ по разработке программного продукта равно 36,5 дней.

Таблица 11 – Расчет трудоемкости внедрения программного продукта

Наименование работы	Вероятностные оценки, дни		
	$T_{\text{min}}$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{ож}}$
Разработка дизайна освещения и построение трехмерной модели в специальных программах;	16	21	18,5
Выбор световых приборов	2	3	2,5
Электрический расчет	4	7	5,5
Монтаж оборудования и светильников	8	12	10
Общая продолжительность работы составляет:	30	43	36,5

### 5.1.3 Расчет себестоимости и цены на архитектурное освещение

Себестоимость наружного освещения – это, как правило, совокупность затрат на проектировочные работы, оборудования и световые приборы и монтажные работы. Затраты подразделяются на следующие статьи расходов:

- 1) Материальные затраты;
- 2) Основная заработная плата;
- 3) Единый социальный налог;
- 4) Накладные расходы.

### 5.2 Расчет материальных затрат

В статье «Материальные затраты» предусмотрены финансовые затраты на материалы, применяемые при монтажных работах для реализации данного проекта, которые приведены в таблице 5.4.

Таблица 12 – Расчет стоимости материальных затрат

Наименование материала	Количество комплектов, шт.	Цена одного комплекта, руб.	Сумма затрат, руб.
LED Technology LLC LT-T8-1500-20-5000K-C LED	36	3000	126000
Кабель ВВГ 3*2,5 (м)	500	20	10000
Автоматический выключатель	3	125	375
Всего	-	-	136375

#### 5.2.1 Расчет заработной платы проектировщика и монтажника

Расчет ЗП проектировщика производится в соответствии с трудоемкостью разработки светотехнических работ.

Данные для расчета:

- 1) Оклад у проектировщика – 15000 руб., оклад у монтажника – 20000



руб.

- 2) Плановый фонд рабочего времени за месяц – 176 часов (22 дня);
- 3) Районный коэффициент – 20%;
- 4) Надбавка – 50%;
- 5) Тарифная ставка [29].

Часовая тарифная ставка ( $C_{\text{ч}}$ ) определяется:

$$C_{\text{ч}} = \frac{\text{Оклад}}{\Phi_{\text{рв}}} \quad (5.2)$$

где  $\Phi_{\text{рв}}$  – плановый фонд рабочего времени за месяц у проектировщика, из расчета 22 рабочих дня по 8 часов.

Определяем заработную плату для проектировщика:

$$C_{\text{ч}} = \frac{15000}{176} = 85,23 \text{ рублей в час}$$

Основная заработная плата за расчет наружного освещения:

$$ЗП_{\text{осн}} = C_{\text{ч}} * T_{\text{ож}} \quad (5.3)$$

$$ЗП_{\text{осн}} = 85,23 \cdot (36,5 \cdot 8) = 85,23 \cdot 292 = 24887,16 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата:

$$ЗП_{\text{доп}} = \frac{ЗП_{\text{осн}} * 15}{100} \quad (5.4)$$

$$ЗП_{\text{доп}} = \frac{24887,16 * 15}{100} = 3733,07 \text{ руб}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$ЗП_{\text{общ}} = ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}} \quad (5.5)$$

$$ЗП_{\text{общ}} = 24887,16 + 3733,07 = 28620,23 \text{ руб}$$

Общая сумма заработной платы с учетом районного коэффициента и надбавки:

$$ЗП_{\text{общ}} = ЗП_{\text{общ}} \cdot 1,7 \quad (5.6)$$

$$ЗП_{\text{общ}} = 28620,23 \cdot 1,7 = 48654,39 \text{ руб}$$

Далее рассчитаем заработную плату монтажника:

Часовая тарифная ставка ( $C_{\text{ч}}$ ):

$$C_{\text{ч}} = \frac{20000}{176} = 113,63 \text{ рублей в час}$$

где  $\Phi_{\text{рв}}$  – плановый фонд рабочего времени за месяц у монтажника, из расчета 22 рабочих дня по 8 часов.

Основная заработная плата за разработку программы составит:

$$ЗП_{\text{осн}} = 113,63 \cdot (10 \cdot 8) = 113,63 \cdot 80 = 9090,4 \text{ руб};$$

Дополнительная заработная плата:

$$ЗП_{\text{доп}} = \frac{9090,4 \cdot 15}{100} = 1363,56 \text{ руб}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$ЗП_{\text{общ}} = 9090,4 + 1363,56 = 10453,96 \text{ руб}$$

Общая сумма заработной платы с учетом районного коэффициента и надбавки:

$$ЗП_{\text{общ}} = 10453,96 \cdot 1,7 = 17771,73 \text{ руб}$$

Тогда, общая сумма затрат на заработную плату проектировщика и монтажника составит:

$$ЗП_{\text{общ}} = 48654,39 + 17771,73 = 66426 \text{ руб}$$

Результаты по заработной плате показаны в таблице 5.5.

Таблица 13 – Результаты по заработной плате

Исполнитель	Оклад (руб.)	Часовая тарифная ставка (руб./час.)	Основная заработная плата (руб.)	Дополнительная заработная плата (руб.)	Заработная плата с учетом районного коэффициента и надбавки (руб.)
1. монтажник	20000	113,6	24887,16	3733,07	48654,39
2. проектировщик	15000	85,2	9090,4	1363,56	17771,73
3. ИТОГО	×	284	33977	5096	66426

## 5.2.2 Расчет единого социального налога

При ставке 30% от общей суммы заработной платы, ЕСН высчитывается по формуле:

$$\text{ЕСН} = \frac{\text{ЗП}_{\text{общ}} * 30}{100} \quad (5.7)$$

$$\text{ЕСН} = \frac{66426 * 30}{100} = 19837 \text{ руб}$$

## 5.2.3 Расчет накладных расходов

В статью включены затраты, связанные с обслуживанием и организацией производства. В данном случае – это расходы на электроэнергию, потребляемую компьютером за время разработки программы и амортизационные отчисления.

Таблица 14 – Затраты на электроэнергию

Вид оборудования	Мощность, кВт	Стоимость, 1 кВт/час	Время работы, Т <sub>ож</sub> час	Сумма затрат, руб.
ПК	0,4	2,45	292	286,16
Итого	-	-	-	286,16

В таблице 5.6 выполнены расчеты по затрате ресурсов на электроэнергию по формуле:

$$\text{Сумма} = (M \cdot C) \cdot T \quad (5.8)$$

где M – Мощность, кВт

C – Стоимость, 1 кВт/час

T – Время работы оборудования, Т<sub>ож</sub> час

В таблице 5.7 рассчитана сумма амортизационных отчислений за период проектирования и монтажа в днях.

Таблица 15 – Амортизационные отчисления

Вид оборудования	Первоначальная стоимость, руб.	Норма амортизации %	Сумма амортизационных отчислений, руб.
ПК	31000	20	5580
Светильник LLC LT-T8-1500-20-5000K-C LED	126000	17,5	22050
Кабель ВВГ 3*1,5 (м)	10000	10	1000
Автоматический выключатель	375	10	37,5
Итого	-	-	28667,5

Сумма амортизационных отчислений за период работы, определяются по следующим формулам:

$$A_{Г} = \frac{C_{П} * H_{а}}{100} \quad (5.9)$$

$$A_{мес} = \frac{A_{Г}}{12} \quad (5.10)$$

где  $C_{п}$  – первоначальная стоимость оборудования, руб.;

$H_{а}$  – годовая норма амортизации, % [30];

Прочие накладные расходы (ПНР) – 50% от всей заработной платы+ЕСН:

$$ПНР = \frac{(66426 + 19837) * 50}{100} = 43131,5 \text{ руб}$$

Сумма накладных расходов (СНР) = затраты на электроэнергию + амортизационные отчисления + прочие накладные расходы.

$$СНР = 286,16 + 11980 + 43131,5 = 55397,66 \text{ рублей.}$$

## 5.2.4 Расчет затрат на наружное освещение

Расчет калькуляции затрат наглядно представлен в таблице 5.8 и на рисунке 5,1 «Калькуляция затрат на наружное освещение здания».

Таблица 16 - Калькуляция затрат на наружное освещение

Статья затрат	Единицы измерения	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	руб.	136375
Общая сумма з/п с учетом районного коэффициента и северной надбавки	руб.	66426
Отчисления на социальные нужды (ЕСН)	%	19837
Накладные расходы, в т.ч. амортизация	руб.	55400
Итого:	-	175300

На рисунке 28 представлена диаграмма затрат на наружное освещение.



Рисунок 28 – Затраты на наружное освещение

### **5.2.5 Оценка качества и конкурентоспособности наружного освещения со светодиодными источниками света**

После определения цены наружного освещения со светодиодными источниками света необходимо оценить эффективность данного проекта. Преимущества светодиодного оборудования на современном этапе развития освещения общеизвестны:

- высокая производительность;
- хорошее качество светопередачи;
- долгий срок службы;
- низкое энергопотребление;
- низкая стоимость обслуживания;
- высокая надежность, виброустойчивость, пыле- и влагозащищенность;

В первую очередь необходимость использовать световое оборудование на улице, где светильники и прожекторы подвержены всем возможным негативным влияниям окружающей среды, а иногда это – сорокаградусный мороз с метелью или палящее солнце с песчаными бурями.

Наряду с эстетическими требованиями, предъявляемыми к светильникам и прожекторам для наружного освещения, основные их качества – функциональность и производительность. Наилучший баланс яркости и потребляемой мощности обеспечивают именно светодиодное оборудование. Так, например, светодиодный прожектор потребляемой мощностью 50 Вт создает световой поток той же яркости, что и обычная 150 ваттная лампочка. Светодиодные светильники и прожекторы позволяют подобрать необходимый конкретному типу фасада тон освещения за счет амплитудных значений цветовой температуры (от 2700 К – теплый свет, до 6500 К – холодный дневной свет).

## Глава 6. Социальная ответственность

### Введение

В условиях научно-технического прогресса, быстро растущего производства, внедрения новой техники и технологий, роста роли человека на производстве и социальной значимости безопасных и здоровых условий труда, проблема безопасности жизнедеятельности приобретает особую актуальность. Производственное освещение — неотъемлемый элемент условий трудовой деятельности человека. Производительность труда и качество выпускаемой продукции находятся в прямой зависимости от освещения.

Основной задачей производственного освещения является поддержание на рабочем месте освещенности, соответствующей характеру зрительной работы. Увеличение освещенности рабочей поверхности улучшает видимость рабочих объектов за счет повышения их яркости, увеличивает скорость различения деталей, что сказывается на росте производительности труда.

В данном разделе будут рассматриваться характеристики производственных и экологических опасностей, разработка системы обеспечения экологической и производственной безопасности, организационно-экономическое обеспечение системы безопасности жизнедеятельности при разработке дизайн-проекта светового решения жилого массива г. Томска.

Целью раздела является идентификация возможных поражающих и вредных и опасных факторов в помещении компьютерного класса. Основные и вспомогательные работы, с использованием ПЭВМ производятся в помещении компьютерного класса (кафедра ЛиСТ, учебный корпус 16В, 248 ауд.). В аудитории имеется 12 персональных компьютеров. Выполнение данной выпускной квалификационной работы осуществлялось с помощью прикладного программного обеспечения.

## 6.1 Производственная безопасность

Вредным фактором считается фактор, воздействие которого может привести к заболеванию, нарушению здоровья потомства, а также может вызывать временное или стойкое ухудшение самочувствия. Опасным фактором называется такой фактор, который может привести к травме или гибели человека при однократном кратковременном воздействии.

Анализ вредных и опасных факторов, которые возникают при эксплуатации объекта исследования приведены в таблице 1.

Таблица 17 - Вредные и опасные факторы при эксплуатации объекта исследования

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Опасные	Вредные	
Обработка информации на персональном компьютере (построения 3D модели и выбор светильников в специальных программах, обработка базы данных, набор текста и т.д.)	1. Электрический ток	1.Пульсация освещенности  2.Недостаточная освещенность рабочей зоны	ГОСТ 12.1.038–82 [45] ГОСТ 12.1.045–84 [46] ГОСТ 12.4.011–89 [47] ГОСТ Р 12.1.019-2009 [58] СП 52.13330.2011.[52] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. [48]



## **6.1.1 Анализ вредных факторов, которые возникают при эксплуатации объекта исследования**

### **Недостаточное освещение рабочей зоны**

Производственное освещение – неотъемлемый элемент условий трудовой деятельности человека. При правильно организованном освещении рабочего места обеспечивается сохранность зрения человека и нормальное состояние его нервной системы, а также безопасность в процессе производства. Различают следующие виды производственного освещения: естественное, искусственное и совмещенное.

Естественное освещение осуществляется за счет прямого и отраженного света солнца. Различают боковое естественное освещение – через световые проемы (окна) в наружных стенах и верхнее естественное освещение, при котором световой поток поступает через световые проемы, расположенные в верхней части здания (крыше). Если используется оба вида освещения, то оно называется комбинированным.

Для характеристики естественного освещения используется коэффициент естественной освещенности (КЕО):

$$КЕО = E/E_0 \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

где  $E$  – освещенность на рабочем месте, лк;

$E_0$  – освещенность на улице (при среднем состоянии облачности), лк.

Искусственное освещение осуществляется электрическими лампами или прожекторами. Оно может быть общим, местным или комбинированным. Общее предназначено для освещения всего производственного помещения. Местное при необходимости дополняет общее и концентрирует дополнительный световой поток на рабочих местах. Если в светлое время суток уровень естественного освещения не соответствует нормам, то его дополняют искусственным. Такой вид освещения называют совмещенным [48].

В компьютерном классе, где находится рабочее место, совмещенное освещение. Естественное освещение осуществляется через боковые окна, ориентированные на восток. Общее искусственное освещение обеспечивается 15 светильниками, встроенными в потолок, расположенными в 5 рядов перпендикулярно стене с оконными проемами и параллельно рядам столов с ПЭВМ, что позволяет достичь равномерного освещения. Также согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 освещенность поверхности экрана не должен быть более 300 лк, яркость светящихся поверхностей (окно, светильник и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200кд/м<sup>2</sup>, яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40кд/м<sup>2</sup> и яркость потолка не должна превышать 200кд/м<sup>2</sup>, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 – 5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

При создании хорошей видимости и выразительности объекта, недопустимо создание АО раздражающего и слепящего действия на пешеходов и водителей автотранспорта. В связи с этим, согласно таблице 2 [52], нормируется яркость фасадов зданий и сооружений, а так же элементов ландшафтной архитектуры в зависимости от условий их зрительного восприятия в городской среде.

В объекте исследования для снижения потребляемой электрической мощности и равномерного наружного освещения предлагается заменить используемые натриевые светильники на светодиодные светильники LIGHTING TECHNOLOGIES ATHINA LED. Светодиодные технологии освещения благодаря эффективному расходу электроэнергии и простоте конструкции нашли широкое применение.

Технические преимущества светодиодных светильников:

- высокий КПД;
- высокая механическая прочность (устойчивы к вибрации, ударам и другим механическим воздействиям);

- безопасность использования (высокая электрическая и пожарная безопасность);
- нечувствительность к низким температурам, безотказная работа при температуре окружающей среды от - 60 до +40 °С;
- возможность получать различные спектральные характеристики без применения светофильтров;
- длительный срок службы;
- отсутствие ядовитых составляющих, что исключает отравление при переработке и при эксплуатации
- высокая экономичность за счет малого тока потребления;
- высокая механическая прочность не требуют обслуживания во время всего срока эксплуатации.

Высокий световой поток обеспечивает нормативные показатели освещения в соответствии со СНиП 23-05-95 [42]

Таблица 18 – Нормы наружного освещения городских объектов

Категория городского пространства	Место расположения объекта освещения	Освещаемый объект	Заливающее освещение, средняя яркость фасада $L_{\phi}$ , кд/м <sup>2</sup>	Заливающее и акцентирующее освещение, средняя яркость акцентируемого светом элемента $L_{э}$ , кд/м <sup>2</sup>	Локальное освещение, средняя яркость $L$ , кд/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
А	Парки, сады, бульвары, скверы и пешеходные улицы общегородского значения	Достопримечательные здания, сооружения, памятники и монументы, уникальные элементы ландшафта	5	15	5
Б	Парки, сады, скверы, бульвары и пешеходные улицы окружного и районного	То же и характерные элементы ландшафта	3	10	3

Продолжение таблицы 18

В	Улицы и площади, пешеходные дороги местного значения	Памятники и монументы, достопримечательные здания и сооружения	5	10	3
В	Сады, скверы, бульвары местного значения	То же и характерные элементы ландшафта	3	8	3

<p>Примечания</p> <p>1 Яркость доминантных объектов, обзриваемых с расстояния более 300 м, допускается увеличить до 50 %.</p> <p>2 При расположении объекта освещения в окружении неосвещенного пространства норму яркости, приведенную в настоящей таблице, допускается уменьшать до 50 %.</p>					
---	--	--	--	--	--

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Все эти причины могут привести к несчастному случаю или профзаболеваниям, поэтому столь важен правильный расчет освещенности.

**Недостаточной освещенности при эксплуатации объекта исследования,** следует применять дополнительное местное освещение (фонари, переносные электрические светильники);

При осмотре и ремонте средств электрооборудования в местах с недостаточной освещенностью должны применяться переносные светильники только заводского изготовления. У ручного переносного светильника должны быть металлическая сетка, крючок для подвески и шланговый провод с вилкой [52].

## **Пульсация освещенности**

У большинства людей, которые подолгу находятся в помещениях с пульсирующим искусственным освещением или работают за мерцающим монитором, отмечают у себя следующие симптомы:

1. боли в глазах;
2. усталость глаз;
3. повышенный уровень утомления;
4. сухость, "песок" и боли в глазах;
5. покраснение и слезливость глаз;
6. потеря концентрации и понижение внимания;
7. общее снижение работоспособности

Данный показатель рассматривается в СНиП 23-05-95\* [42]. Максимально допустимое значение коэффициента пульсаций для общего освещения составляет 10%. Коэффициент пульсаций освещенности, создаваемой ОС со светодиодами, обусловлен качеством используемых драйверов. Светильник LIGHTING TECHNOLOGIES ATHINA LED используемый в проекте обеспечивает низкий уровень коэффициента пульсаций.

### **6.1.2 Анализ опасных факторов, которые возникают при эксплуатации объекта исследования**

#### **Электрический ток**

Наиболее часто несчастные случаи, вызванные поражением электрическим током, происходят среди электриков и электромонтеров. Электротравмы чаще всего связаны с неправильным устройством электротехнических установок, отсутствием заземления, применением голых проводов и т. д. Исходы поражений электрическим током зависят от многих условий: характера электрического тока, состояния организма в момент

электротравмы, а также обстановки, при которой произошло поражение. Переменный ток значительно более опасен, чем постоянный электрический ток такого же напряжения. Источники освещения и в том числе светодиодные светильники работают в переменном токе.

Исход электротравмы в значительной мере зависит от силы тока, пути, по которому ток проходит через тело, и от длительности воздействия. Важнейшее значение для исхода электротравмы имеет психическое состояние и общая реактивность организма в момент воздействия электрического тока. При силе переменного тока до 0,015 А опасности для человека нет, но уже при силе более 0,015 А возможны тяжёлые последствия. За величину отпускающей силы тока принята величина 0,01 А, токи силой 0,09-0,1 А и выше являются смертельными. ГОСТ 12.1.038.-82 [45] устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, предназначенные для проектирования способов и средств защиты людей, при взаимодействии их с электроустановками производственного и бытового назначения переменного тока частотой 50 Гц.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 3.

Таблица 19 – Предельно допустимые уровни напряжения и тока (ГОСТ 12.1.038-82) [45]

Ряд тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни, не более, при продолжительности воздействия тока, с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
Переменный 50 Гц	Напряжение, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	Ток, мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6

**При эксплуатации объекта исследования** для защиты от действия электрического тока следует применять электротехнические средства: диэлектрические перчатки, галоши, коврики, подставки, накладки, колпаки, переносные заземляющие устройства, указатели напряжения, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками, плакаты и знаки безопасности [47].

При обслуживании осветительных установок не допускается:

- включать в работу механизмы без защитных ограждающих устройств, при неисправных ограждениях;
- снимать или восстанавливать во время работы вращающихся механизмов защитные ограждения с муфт и валов;
- открывать дверки распределительных шкафов, щитов и сборок, производить очистку светильников и замену перегоревших ламп освещения, прикасаться к оголенным или неизолированным проводам;
- останавливать вручную вращающиеся или движущиеся механизмы;
- эксплуатировать неисправное оборудование, а также оборудование с неисправными или отключенными устройствами аварийного отключения блокировок, защит и сигнализации [58].

## **6.2 Экологическая безопасность**

В компьютерном зале, где выполнялась дипломная работа, для освещения помещения используются люминесцентные лампы. У всех люминесцентных ламп содержится от 1 до 70 мг ртути. Ртуть относится к 1 – классу токсичных отходов и является чрезвычайно опасным по СП 52.13330.2011 [52]. В соответствии с «Санитарно-эпидемиологическими требованиями к атмосферному воздуху» предельно допустимая концентрация ртути (ПДК) в атмосферном воздухе— 0,0003 мг/м<sup>3</sup>. По оценке специалистов, только 30% люминесцентных ламп собирают по правилам, остальные 70% выбрасываются в обычный мусорный контейнер. Требуется определенные

условия для хранения, эксплуатации и утилизации люминесцентных ламп. Ртуть даже в небольшом количестве представляет большую опасность обществу. Поэтому люминесцентную лампу при выходе из строя запрещается выбрасывать в мусорное ведро вместе с бытовыми отходами. Таких ламп необходимо хранить и эксплуатировать не допуская механических повреждений, а после использования отнести в свой районный ДЕЗ или РЭУ, где установлены специальные контейнеры.

### **6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Понятие «чрезвычайная ситуация» было сформулировано в Федеральном законе «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ.

В законе определено, что чрезвычайная ситуация – это обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Таким образом, чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка, которая оказывает отрицательное влияние на жизнедеятельность человека и приводит к жертвам среди людей.

ЧС делятся по следующим признакам: природного характера, техногенного характера, биолого-социального характера, экологического характера.

Чрезвычайные ситуации природного характера:

1. геофизические опасные явления – землетрясения, вулканы и т.д.
2. геологические опасные явления – пыльные бури, оползни, сели, обвалы и т.д.



3. метеорологические опасные явления – бури, ураганы, смерчи, ливни, снежные заносы, заморозки и т.д.

4. гидрологические опасные явления – наводнения, паводки, половодья и т.д.

5. морские гидрологические опасные явления – штормы, тайфуны, цунами и т.д.

6. гидрогеологические опасные явления – опасно высокие уровни грунтовых вод и т.д.

7. природные пожары – лесные, торфяные, степные, хлебные и т.д.

Чрезвычайные ситуации биолого-социального характера:

1. эпидемии – массовое распространение инфекционных заболеваний людей.

2. эпизоотии – массовое распространение инфекционных заболеваний сельскохозяйственных животных.

3. эпифитотии – массовое распространение инфекционных заболеваний и вредителей сельскохозяйственных растений.

Чрезвычайные ситуации техногенного характера:

1. транспортные аварии – аварии на автомобильном, железнодорожном, авиационном, морском, и других видах транспорта.

2. пожары и взрывы – в зданиях, на коммуникациях и технологическом оборудовании.

3. аварии с выбросом химически опасных веществ, при их производстве, переработке, транспортировке.

4. аварии с выбросом радиоактивных веществ – аварии на АЭС, аварии с боеприпасами, аварии при транспортировке и хранении радиоактивных веществ.

5. аварии с выбросом биологических веществ – аварии на предприятиях использующих БОВ, а также при их транспортировке.

6. внезапное обрушение зданий – обрушение зданий, коммуникаций, производственных сооружений.

7. аварии на электроэнергетических системах – аварии на электростанциях и транспортных электроконтактных сетях.

8. аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения – аварии на канализационных, тепловых сетях, электрических сетях и водоснабжения.

9. аварии на очистных сооружениях сточных вод и промышленных отходов.

10. гидродинамические аварии – прорыв платин дамб, шлюзов.

Чрезвычайные ситуации экологического характера – чрезвычайные ситуации вызванные изменением состояния суши, атмосферы, гидросферы, биосферы в результате деятельности человека.

К пожарам при монтаже и неисправности светильников чаще всего приводят всевозможные короткие замыкания, возникающие как при соприкосновении между собой разных проводов, так и при соприкосновении фазного провода с землей.

Короткие замыкания во внутренних проводках происходят вследствие порчи изоляции. Короткие замыкания во внутренних проводках могут происходить не только при непосредственном соприкосновении проводов, изоляция которых потеряла свои свойства. Они могут возникнуть и в результате прохождения тока между проводами, не соприкасающимися друг с другом, но электрически соединенными между собой вследствие соприкосновения их с металлическими предметами, например, с водопроводными трубами. Короткие замыкания между проводами могут происходить также вследствие влажности окружающей среды, в частности, из-за сырости стен.

В том числе определенную пожарную опасность представляют всевозможные неплотные контакты, например, в местах присоединения проводов к приборам или при сращивании их между собой. Неплотные контакты окисляются и создают большое сопротивление. Они чрезмерно нагреваются и нередко вызывают воспламенение изоляции проводов.

Неплотные соединения могут приводить еще и к искрению, что также является возможной причиной возникновения пожаров [49].

В рабочем помещении имеется электропроводка напряжением 220 вольт, предназначенная для питания электроприборов и освещения. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

Данное помещение относится к категории В<sub>1</sub>-В<sub>4</sub>. К характеристике веществ и материалов, находящихся в помещении относятся: Горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна): фибролит, древесина, пропитанная антипиренами, линолеум и т.д. [53].

#### **Организационные мероприятия:**

1. Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
2. Обучение персонала правилам техники безопасности;
3. Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

#### **Эксплуатационные мероприятия:**

1. Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
2. Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
3. Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

**К техническим мероприятиям** относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В коридоре имеется порошковый огнетушитель типа ОП-5, перекидной рубильник, на двери приведен план эвакуации в случае пожара и на достигаемом расстоянии находится пожарный щит [54].

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, свое-

временно, организовать эвакуацию людей в соответствии с планом эвакуации при пожаре, как показано на рисунке 29. [53].

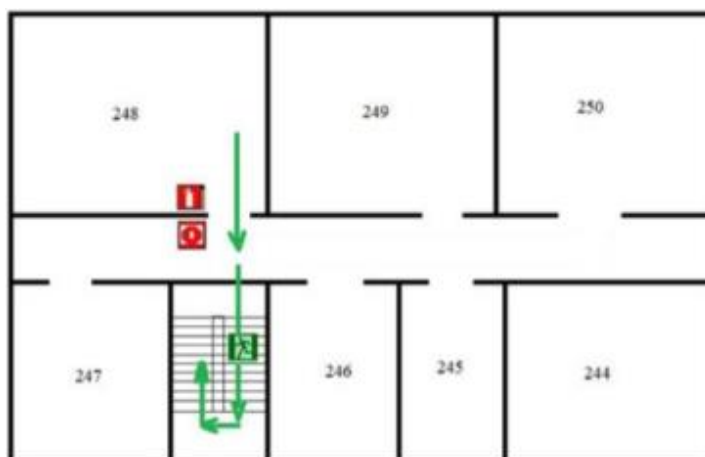


Рисунок 29 – План эвакуации при пожаре из компьютерной аудитории 248 16В корпуса

#### **6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

##### **Правила установки и монтажа для обеспечения безопасности эксплуатации ОУ**

Монтаж и подключение светильника должен производить специалист в области проведения электротехнических работ. Светодиодные светильники рассчитаны на работу в сети переменного тока с напряжением 220 В, номинальной частотой 50 Гц.

Светодиодный светильник легко устанавливается на любую ровную поверхность. Монтаж производится в различных положениях – горизонтальном и вертикальном, предусмотренных конструкцией корпуса. Его можно устанавливать на потолок, на стены и на опоры, монтажная поверхность должна быть ровной.

Правила установки и монтажа ОУ СНиП 3.05.06-85 [51]

Если светодиодный светильник вышел из строя, его нельзя ремонтировать и пытаться восстанавливать. Нельзя разбирать во избежание несчастных случаев

1. Запрещена эксплуатация светильника без заземления. Заземление выполняется по ГОСТ 12.1.030-81 [47].

2. Светильники должны быть переданы заказчиком в монтаж в исправном состоянии и проверенными на световой эффект.

3. Крепление светильника к опорной поверхности (конструкции) должно быть разборным.

4. Светильники, применяемые в установках, подверженных вибрации и сотрясениям, должны быть установлены с применением амортизирующих устройств.

5. Крюки и шпильки для подвеса светильников в жилых зданиях должны иметь устройства, изолирующие их от светильника.

6. Присоединение светильников к групповой сети должно быть выполнено с помощью клеммных колодок, обеспечивающих присоединение как медных, так и алюминиевых (алюмомедных) проводов сечением до 4 мм<sup>2</sup>.

7. В зданиях одиночные патроны должны быть присоединены к проводам групповой сети с помощью клеммных колодок.

8. Концы проводов, присоединяемых к светильникам, счётчикам, автоматам, щиткам и электроустановочным аппаратам, должны иметь запас по длине, достаточный для повторного подсоединения в случае их обрыва.

9. При подсоединении автоматов и предохранителей ввертного типа защитный (нулевой) провод должен быть присоединён к винтовой гильзе основания.

10. Вводы проводов и кабелей в светильники и электроустановочные аппараты при наружной их установке должны быть уплотнены для защиты от проникновения пыли и влаги.

## Заключение

Концепция формирования искусственной световой среды города складывается не только из обеспечения необходимой освещенности на автомобильных дорогах и индивидуального «штучного» архитектурного освещения зданий. Необходим комплексный подход к проектированию вечернего городского светового пространства с целью создания зрительной выразительности. Использование понятий «световой генплан», «световой ансамбль» позволяет учесть весь спектр задач стоящих перед проектировщиком. Правильное решение светового оформления города заключается не только в рациональном устройстве отдельных осветительных установок, но, самое главное, в удачной координации их между собой, а это предопределяет необходимость комплексного решения светового оформления города. Основная задача светового оформления города в целом – правильно распределить световые и цветовые акценты, выделив светом важнейшие исторические и высокохудожественные сооружения, создать живописную игру света и тени на фонтанах, деревьях, украшающих города, выделить торговые центры и отдельные магазины, зрелищные предприятия. Частные задачи заключаются в рациональном и современном решении каждой из осветительных установок в системе светового оформления города.

В настоящей работе представлены варианты проектного решения по модернизации осветительных установок текущего жилого массива. Выбран оптимальный вариант, для которого рассчитана и представлена принципиальная схема. Любой из предложенных вариантов может быть рассмотрен, как конечный при условии доработки схем подключения.

## Список литературы

1. Рапп Ф. Философия техники в ФРГ. М. 1989.
2. Рамси А. Р. Дж. Происхождение и развитие керосиновой калильной лампы // Доклад в Музее Науки. Лондон. 2.10.1968.
3. Велихов Е. П., Ковалев А. С., Рахимов А. Т. Физические явления в газоразрядной плазме. М., 1987.
4. Энциклопедический словарь Брокгауза и Эфрона. Электрическое освещение, т. XL, с. 431-458.
5. О. Зотин. В преддверии возрождения постоянного тока // Силовая электроника, 2013, № 4-6.
6. В. В. Петров. Известие о гальванивольтовых опытах / С.-Петербург, 1803.
7. Патент № 112024, выданный во Франции 23 марта 1876 г. П. Н. Яблочкову на электрическую лампу. Пять дополнений к патенту № 112024 от 16.09.1876 г., 02.10.1876 г., 23.10.1876 г., 21.11.1876 г., 31.03.1877 г.
8. Патент № 115793, выданный во Франции 30 ноября 1876 г. П. Н. Яблочкову на распределение токов, предназначенных для освещения электрическим светом. Два дополнения к патенту № 115793 от 20.02.1877 г. и 27.04.1877 г.
9. M. Oppenheimer. Austin's Moon Towers, Beyond 'Dazed and Confused'. The New York Times 13.02.2014.
10. А. Лодыгин. Патент США № 575002. Нить для лампы накаливания. Приоритет от 04.01.1893.
11. С. Чертопруд. Охота на «лампочку Ильича». Эксперт № 12 (795), 2012.
12. Donald G. Fink and H. Wayne Beaty, Standard Handbook for Electrical Engineers, Eleventh Edition, McGraw-Hill, New York, 1978, ISBN 0-07-020974-X, pg. 22-8.

13. Tests shine light on the secret of the Livermore light bulb. San Jose Mercury News. 6 February 2011.
14. О. В. Лосев. Светящийся карборундовый детектор и детектирование с кристаллами. Телеграфия и телефония без проводов (ТиТбп) № 5, 1927, Н. Новгород.
15. Bob Johnstone. Shuji Nakamura and the Revolution in Lighting Technology. Prometheus Books, Amherst, N.Y., 2007.
16. Ю. Б. Айзенберг, Е. Ю. Матвеева, Д. Д. Юшков. О состоянии освещения городов страны // Светотехника. ISSN 0039-7067. 2012. № 6.
17. А. В. Степанов, О. Г. Корягин. Наружное освещение на старте XXI века // Техника городского хозяйства. 2001. № 4.
18. Методика расчета тарифов на техническое обслуживание установок наружного освещения Санкт-Петербурга и его пригородов. Администрация Санкт-Петербурга. КЭРППиТ. Распоряжение от 17.07.2003 года № 31-р.
19. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Естественное и искусственное освещение. СНиП 23-05-95. Издание Министерства строительства Российской Федерации (Минстрой России). Москва. 1995.
20. Свод правил СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. Министерство регионального развития РФ. Москва. 2011.
21. О. Т. Зотин. Технологии автоматизации в энергоресурсосберегающих сетях освещения // Современные технологии автоматизации. 2012. № 4.
22. П. М. Шевкоплясов. Основы управления качеством городских осветительных систем. (Из опыта Ленсвета.) Л. Энергоатомиздат. 1986.
23. Справочная книга по светотехнике. Под ред. проф. Ю. Б. Айзенберга, 3-е изд., ил. М.: 2008.
24. О. Т. Зотин. В преддверии возрождения постоянного тока // Силовая электроника. 2013. № 4-6.



25. О. Т. Зотин, Н. О. Морозова. Анализ эффективности управления энерго-сбережением в наружном освещении // Современная светотехника. 2010. №2.
26. О. Т. Зотин, Н. О. Морозова. Энергосберегающее управление наружным освещением. Возможные принципы построения и сравнительная оценка вариантов // Светотехника. 2010. № 5.
27. В. Е. Манойлов. Основы электробезопасности. Изд. 3-е, перераб. и доп. Л., «Энергия», 1976.
28. О. Т. Зотин. Управление освещением открытых пространств. Часть 2 // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 2.
29. Щепетков Н. И. Формирование световой среды вечернего города [Электронный ресурс]: Дис. ...д-ра архитектуры. – М.: РГБ, 2005.
30. Волоцкой Н. В., Дадиомов М. С., Николаева Л. Д. и др. Освещение открытых пространств. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 232 с., ил.
31. Справочная книга по светотехнике / под ред. Айзенберга Ю. Б.- М.: Знак, 2006. – 972 с., ил.
32. Щепетков Н. И. Световой дизайн города. – М.: Архитектура-С, 2006. – 320 с.: ил.
33. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.
34. Червяков М. М., Щур О. А. Эволюция языка света в архитектуре. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 56 с.
35. Щепетков Н. И. Формирование световой среды вечернего города [Электронный ресурс]: Дис. ...д-ра архитектуры. – М.: РГБ, 2005.
36. Волоцкой Н. В., Дадиомов М. С., Николаева Л. Д. и др. Освещение открытых пространств. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 232 с., ил.
37. Справочная книга по светотехнике / под ред. Айзенберга Ю. Б.- М.: Знак, 2006. – 972 с., ил.
38. Щепетков Н. И. Световой дизайн города. – М.: Архитектура-С, 2006. – 320 с.: ил.
39. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.

40. Червяков М. М., Щур О. А. Эволюция языка света в архитектуре. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 56 с.
41. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
42. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
43. ГОСТ 12.1.005-88\*. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
44. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация
45. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
46. ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
47. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
48. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий
49. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
50. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
51. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
52. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. 53. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.

54. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.

55. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

56. ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования

57. Правила устройства электроустановок ПУЭ

58. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### CHAPTER 3. Bedroom suburb of Tomsk. Features, advantages, disadvantages

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5А	Бердалиев Б.Ж.		

Консультант кафедры ЛИСТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гречкина Т.В.	к.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист кафедры ЛИСТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. иностраннных языков ФТИ	Надеждина Е.Ю.	к.п.н.		

### 3.1 Lighting of open spaces

The first networks of electric lighting came to grips with the systems of gas lighting, steel network with arc lamps P. N. Yablochkov ("La lumiere russe" — "Russian light"). Making a splash in 1876 at an exhibition in London, they received the possibility of introducing in different cities in dozens of major projects, but was unable to reach the level of mass use due to the fact that the short lifetime of the lamps has led to higher operational costs. But the network of electric lighting with incandescent lamps showed its advantage in operation, and this became apparent even before the appearance of long-lived tungsten filaments and to generate effective three-phase power supply networks. Since that time, the successes and failures of each innovative technology of the integral is determined solely by economic criteria, as happened, for example, in a conflict concerning a breakthrough in the efficiency of power supply, which is called the "war of currents" [5].

In the last decade of the XIX century the research of artificial electric lighting started Russian experimental physicist Vasily Vladimirovich Petrov. He first received and began to study the glow of an electric arc between two carbon electrodes, Sabitov from them he created a unique electric battery (called the voltaic pile) voltage of about 2 kV [6]. Subsequently, an outstanding British physicist Humphrey Davy named this type of electrical discharge volt arc.

However, since the main source of electricity for many decades were bulky the primary and secondary chemical sources of direct current electric batteries and accumulators, the experiments with electric light almost never went beyond the walls of laboratories.

Only an Electromechanical current generator opened the way for widespread use of electricity.

For a long time failed to create a practical and long lasting lamp arc discharge because of the need to maintain the exact distance (3-5 mm) between the burning carbon electrodes, which required manual or automatic adjustment (light Siemens and Halske, Kertinge, Schuckert, Andusa, etc.).

To solve the problem of maintaining a constant distance between the electrodes of an arc lamp without using complicated and unreliable regulators, managed P. N. Yablochkov. In the mid 1870-ies he created the world's first system of electric lighting, solving several problems and recommending a range of innovations, among which the following should be noted:

- the actual arc lamp, consisting of two parallel carbon electrodes with kaolin insulator, bounding the combustion zone [7];

- system AC voltage is accepted at the time, DC voltage, providing the same erosion of both electrodes [8];

- generators of alternating voltage of high efficiency;

- ensuring the supply of a large number of lamps from a single voltage source (a so-called solution to the problem of fragmentation of light), since arc lamps are not allowed under the simple parallel connection to a single generator;

- create a prototype of the transformer as one of the elements of the first variant of the scheme of "splitting the light";

- providing automatic ignition of the arc lamps without forced circuit and heating of the electrodes (due to the combustion of special jumpers);

- ensuring automatic re-ignition of arc lamps after quenching by adding in the carbon electrodes of special additives for the formation of this spetspriemniki after extinguishing the lamp;

- increasing the lamp's efficiency by adding to the carbon electrodes of metal salts (fluorides of magnesium, strontium, barium, calcium), as well as obtaining by using additives of various color effects. In addition, it is considered adopted.

At the end of the nineteenth century, revealed a great need for bright and reliable light sources with a long service life, not needing any significant maintenance.



Figure 2 - maintenance of one of the lighting masts Austin

The first system of electric lighting, crowding domination-lished at that time gas lighting was the system with bulbs of Thomas Edison, a pilot project where he was able to introduce in new York in 1882. The hallmarks of the Edison project were:

- the use of evacuated incandescent lamps with carbon filaments (charred bamboo);
- patented bipolar network DC voltage;
- the use of a number of patented component parts, including you-locately, screw lamp bases and lamp sockets, fuses, energy meters, etc.;
- improving the efficiency of the generators constant voltage.

The most important systemic innovation for electric lighting in the early twentieth century was the transition to three-phase power supply network, the main contribution to which is owned by M. O. Dolivo-Dobrovol'skii [5]. The technology of three-phase networks allowed using the conversion transformer, transmit electricity over long distances with low losses, to abandon the low-yield and inefficient thermal power plants to improve the environment and reduce the cost of electricity production large hydro, thermal, and later in nuclear power plants.

Thus, already in 20-ies of the last century's lighting system was radically different from the systems adopted by T. Edison. To replace coal threads came tungsten, a DC voltage was replaced by variable generation in large power plants, has

undergone substantial modernization of all components of the lighting systems, including electricity meters. Up to the present time survived and remained the most common single elements adanowsky networking — lamp sockets (Edison Screw — ES). In networks with a voltage of 220 V used lamp bases E14 and E27 (27 mm and 014), network, 110V — E12 and E26 (012 and 26 mm), in networks of external illumination used socket E40 (040 mm).

In street lighting a number of countries quite widely used fluorescent lamps. In our country, they have not moved beyond small pilot projects, because at low temperatures it is impossible to ensure their reliable ignition and high energy efficiency. In addition, due to the large area of the body glow and rarely located the supports they found no use for homogeneous illumination of the streets. In the language of lighting this means that the obtaining of the curve of luminous intensity (CIL) of the type W (wide) was quite difficult. In this regard, it would be possible for them not to stop, if not two circumstances. The first is the effect of luminescence in the future, has been widely used in more efficient mercury high-pressure lamps and in LEDs. Second—with fluorescent lamps in the early 1980-ies started the wide distribution of semiconductor electronics (electronic ballasts — electronic ballasts). The use of electronic ballasts can be considered the first successful example of the use of electronics in lighting, which was a harbinger of the era of semiconductor lighting.

Electronic ballasts, or electronic ballasts, were replaced in Lumi-nascentric lamps electromagnetic ballasts (EB), which contained the ballast choke, starter (ensures preheating of the electrodes of the lamp and ignition) and condenser, reducing noise and improving the power factor. EB provide discharge ignition and stabilization of the current through the fluorescent lamp. The use of electronic ballasts improves some performance characteristics of fluorescent lamps and, despite the cost increase, the payback period is acceptable. Among the operational characteristics of fluorescent lamps with electronic ballasts have the following:



- increased the light output of the lamp at an elevated power supply frequency and higher efficiency ballast compared to EB, which increases energy efficiency "20%;
- increase lamp life by half due to the sparing mode of operation and start-up;
- significant reduction in operating costs by reducing the number of replacement bulbs and no need replace the unreliable starters;
- the lack of noise and ripples of brightness;
- increase the power factor to "of 0.85, which is particularly important to save energy in large lighting systems;
- stabilization of the luminous flux when changing the supply voltage within a wide range;
- reduction of starting currents;
- dimming (brightness control) with an additional energy saving;
- providing shut-off when bulb failure.

Modern thin (5/8 inch) T5 fluorescent lamps with high luminous efficiency (100 LM/W) are used only with electronic ballasts. Miniaturization of electronic ballasts allowed to embed them in a compact Lio also they are lamps, received the title of "energy-saving".

Back to outdoor lighting, we note that in the first half of the twentieth century, the study of luminescence of mercury vapor under the action of electric current was carried out in several laboratories in the direction of increasing light output with increasing vapor pressure. However, only in 1948 was able to produce a working design of a mercury lamp high pressure (LVD) with small quartz burner that can withstand high temperature the excited mercury plasma. RLWD and later developed high-pressure lamps (HPL) as well as fluorescent lamps required the use of ballasts (at first it was DL, and then a more efficient electronic ballasts) because of the need to stabilize the current.

In the 1960-ies with the creation of resistant to high temperature phosphors appeared RLVD with improved range in the red-yellow region. They became known as RLD with improved colour rendering index ("color corrected"). The light output is

the best RLD achieved 40 LM/W. However, since the phosphor is applied on the inner side of the outer bulb, the increased surface glow caused difficulties with creating a lamp with KSS type sh So that these lamps were not destined to dramatically change the situation in the outer lights of cities. But on the domestic Railways BLVD until recently was used quite extensively because of the need to use white lighting because of increased security requirements.

Further modernization RLD steel metal halide lamps (IPF), in which energy efficiency was increased to "90 LM/W due to the additives in the composition of plasma metal halides. Improved range lights, he became closer to the continuous spectrum of sunlight from all common LVD.

Currently, in some countries the manufacture of lamps with RLVD discontinued, and the old fixtures transferred to more sophisticated metal halide lamps (IPF) with the simultaneous replacement of EB, since the IPF required pulse ignition.

The most important technological improvement of HPL is the use of energy efficient radiation of sodium vapor. The complexity of its application was that at high temperature and pressure, sodium is chemically very active. Transparent burner to hold the vapours of sodium managed to create aluminum oxide only in the late 1960-ies. From that time began widespread sodium lamps high pressure (HPS) lighting in open spaces, because they have the best energy efficiency among all LVD. A low powered HPS light efficiency can reach 100 LM/W, and powerful — even 150 LM/W. The longevity of the lamps up to 25 000 h. However, mostly yellow-orange spectrum of light HPS was initially quite far from comfortable white light.

The application of IPF for the same ceramic burners allowed to raise their efficiency (up to "120 LM/W) and durability (up to "15 000 h).

In 1986, due to the increase in pressure of sodium vapor have managed to create a HPS with a fixed colour, they have a color temperature of about 2700 K, a color rendering index of 85 CRIC, which is close to the light bulbs. However, this was achieved by reducing the effectiveness and longevity, but also due to the increase in prices.

An important quality of high-pressure lamps is the ability to control their brightness (dimming). Although HPS can be dimmed not more than 50%, and normal IPF — only 30% no significant changes in the spectrum. A few years ago created a special MH for street lighting with the possibility of a 50% dimming.

Modern lamps with LVD as well as in luminous, there is a replacement EB for electronic ballast with the advantages described above, including the possibility of saving.

A separate subclass of hid lamps should be regarded as electrodeless lamp. The excitation of the plasma in these lamps is achieved by using different generators of electromagnetic fields. Since these lamps lack electrodes and improved sealing, the lifetime increases significantly — up to 50,000 hours or more.

Of the first electrodeless lamp was invented induction lamps. In its present form they represent a toroidal fluorescent lamp with two placed on her ring pathogen electromagnetic fields with frequency in several hundred kilohertz. Despite the ability to work in a wide range of temperatures, they find limited use in street lighting because of the difficulty of obtaining KSS type sh.

In the mid 1990's there was a sulfur lamp high pressure (SL), in which the excitation of sulfuric in a small plasma torch in an argon atmosphere is provided by a magnetron with a frequency of 2.4 GHz. The spectrum of radiation, these lamps are most similar to the spectrum of sunlight, but structurally complex because of the magnetron excitation, requirements for shielding of radiation and the need for rotation and cooling of the burner.

Recently developed and electrodeless IPF, in which the excitation discharge is accomplished using a dielectric cavity.

Electrodeless LVD compared to conventional LVD allow for deeper dimming (up to 3-4 times).

Despite the improvement of several characteristics, contactless LVD is not yet widely spread because of the higher prices.

Thus, by the end of the twentieth century gas discharge lighting has reached its peak and almost all of the latest innovations in this area have led to any qualitative

change in the systems of outdoor lighting. The law of the genre there is a transition to the next technological stage of development. They became the stage of led lighting.

### **3.2 Led lighting Technology**

The efficiency of LEDs is constantly increasing, including the color range of products. In the late 1980s, the luminous flux of a single red, yellow and green led has reached the value of 1 lumen (LM). Research efforts of several laboratories at this time were concentrated around the creation of efficient blue LEDs.

Success in this field waiting for the Japanese researchers and Suji Nakamura, who unlike most scholars of the time of these two materials for making blue LEDs was chosen to be tavsia less promising gallium nitride (GaN). This material had a significantly higher specific density of dislocations than popular at the time, zinc selenide (ZnSe). He managed to create a unique technology and get a film of gallium nitride of the n-type and p-type emitting layer of InGaN. The result Suji Nakamura was the appearance at the end of 1993 the first commercial sample of the blue led [14].

In subsequent years, the efforts of teams of researchers have been building efficient LEDs, which can emit over the entire optical range from ultraviolet to infrared. The composition of the semiconductor LEDs varies from gallium nitride (GaN) to zinc sulfide (PbS).

It would seem that now you can easily get any color of illumination (including white) by additive color mixing, described by Isaac Newton in 1672, using red, blue and green led, as is done, for example, in television. However, this is prevented by two not been solved to date problem. The first is the efficiency of green LEDs is still very low (the problem of so-called green valley [15]). The second is a large temperature fluctuations and variation in the characteristics of radiation of high power LEDs. The result is multi-component led lamps widely used in outdoor lighting is mainly to illuminate and create different effects. Manufacturers of LEDs, designed for illumination, I had to go the old well-trodden path is to use

luminescence. The first white "SuperBright" LEDs combining a blue led with a yellow phosphor coating, appeared in 1996. This started the modern history of led lighting.

The efficiency of mass-produced white LEDs during this time increased from 10 to 110 LM/W for "warm" hue that is similar to the spectrum of incandescent lamps (color temperature "3000 K) and up to 160 LM/W for "cold" color that is similar to the spectrum of fluorescent lamps (color temperature "of 5000K). Luminous flux of single led has exceeded 200 LM.

Gradually, the LEDs compete with almost all traditional light sources. Currently they are widely used in advertising, theater, office, home and other types of lighting. The creation of a competitive street lamp causes certain difficulties associated with a large capacity. So, when you build the trunk lamp with a luminous flux "of 20,000 lumens on the most efficient watt LEDs will need about 200 pieces. Thus, to minimize the degradation is necessary to ensure the mode of operation of the led chip at a temperature not exceeding 85 °C. This is achieved by using a fairly massive heatsink (1000 lumens requires at least 0.8 kg mass of the radiator).

You should also consider that the electronics controlled the driver of the lamp should meet the requirements of high reliability and Dolgova-lennosti in a wide temperature range. It is also necessary to provide a high power factor. At present, such lamps are much more expensive lamps on the HPL, and despite the large energy cost savings, payback period very long. Abroad high electricity tariffs stimulate municipal authorities to actively implement modern energy-saving lighting technology. There is a separate city, completely converted to led lighting.

It would seem that in the lighting of large urban areas in our time goals are very clear and defined objectives. Moreover, for several centuries this question has found a successful solution in various embodiments consistent with the growing needs and progress, light sources, what was the subject of the first two parts of this article. Modern requirements to the artificial lighting of the urban environment based on the fact that the light in night city should be enough for the comfort of pedestrians and the safe movement of traffic on roads. All the essential characteristics of exterior

lighting is detailed in the founding documents: the SNiP and SP Standards. From the point of view of control also all seems simple enough: turn on and turn off the light required for the course and sunrise, respectively, in our very of an automated electrified for a purpose and time is easily done either by an astronomical clock or light sensor. We can only get the most modern energy-saving lamps, upgrade switching equipment to instruct the electricity and we get a modern intelligent lighting system.

In fact, something like this was created the most perfect at the moment, according to some analysts, the led lighting system of Los Angeles, the sister city of St. Petersburg. She received the support of the Foundation of former U.S. President bill Clinton and the U.S. Department of energy (Department of Energy — DOE), and was also endorsed by the Association of forty, the largest world megacities on climate change (Cities Climate Leadership Group — C40).

After four years in Los Angeles was established more than 140 thousand led luminaires from several manufacturers and implemented a system that controls the operation of lamps and energy-monitoring (Smart Metering). Now most of the city is illuminated with white light LEDs (as in the foreground of Fig. 3), and the cost of electricity was produced not by the total installed power of lamps and the time of their burning, and on objective indicators of counters.

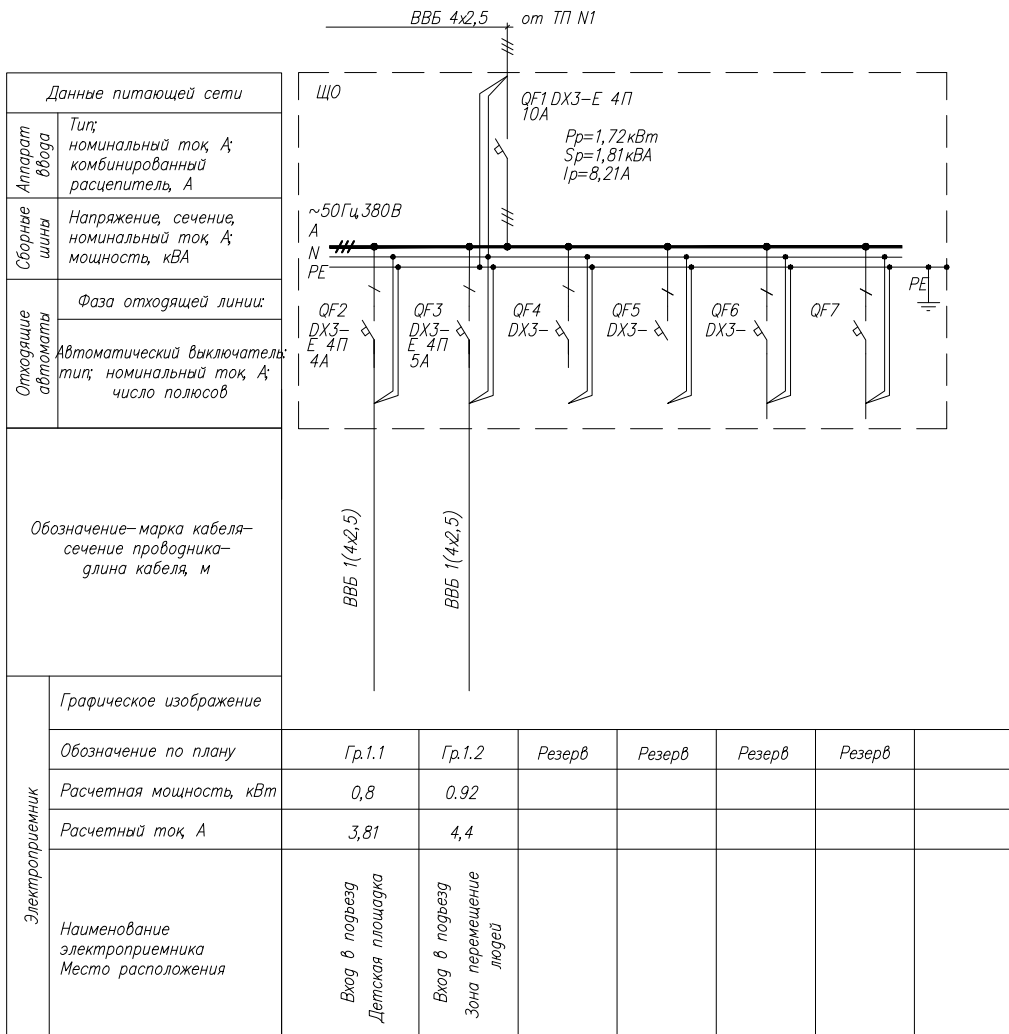


Figure 3 - Lighting Los Angeles

Modernization touched first the neighborhoods and streets of Los Angeles, which was to highlight relatively low-power light-silnicemi (up to "10 thousand lumens each). Secondly, being replaced more powerful sodium lamps on major urban highways. In the next phase, many non-standard fixtures architectural-artistic illumination will also be translated c. discharge lamps of high pressure (HPL) on the led.

Similar projects are being implemented in other major California cities — San Francisco and Palo Alto in anchorage, Alaska, in Quebec (Canada), Oslo (Norway) and a number of European cities. It is obvious that such large-scale programs need a full-fledged feasibility study considering all types of costs throughout the life cycle of the lighting system with the ability to compare with al-alternative versions of the systems. However, the initiators of these projects are limited, as a rule, calculation of payback period initial cost from energy savings over existing, mo-morally and physically obsolete systems and not trying to cover the problem in its entirety. Suffice it to say that possible alternatives to the systems not even offered.

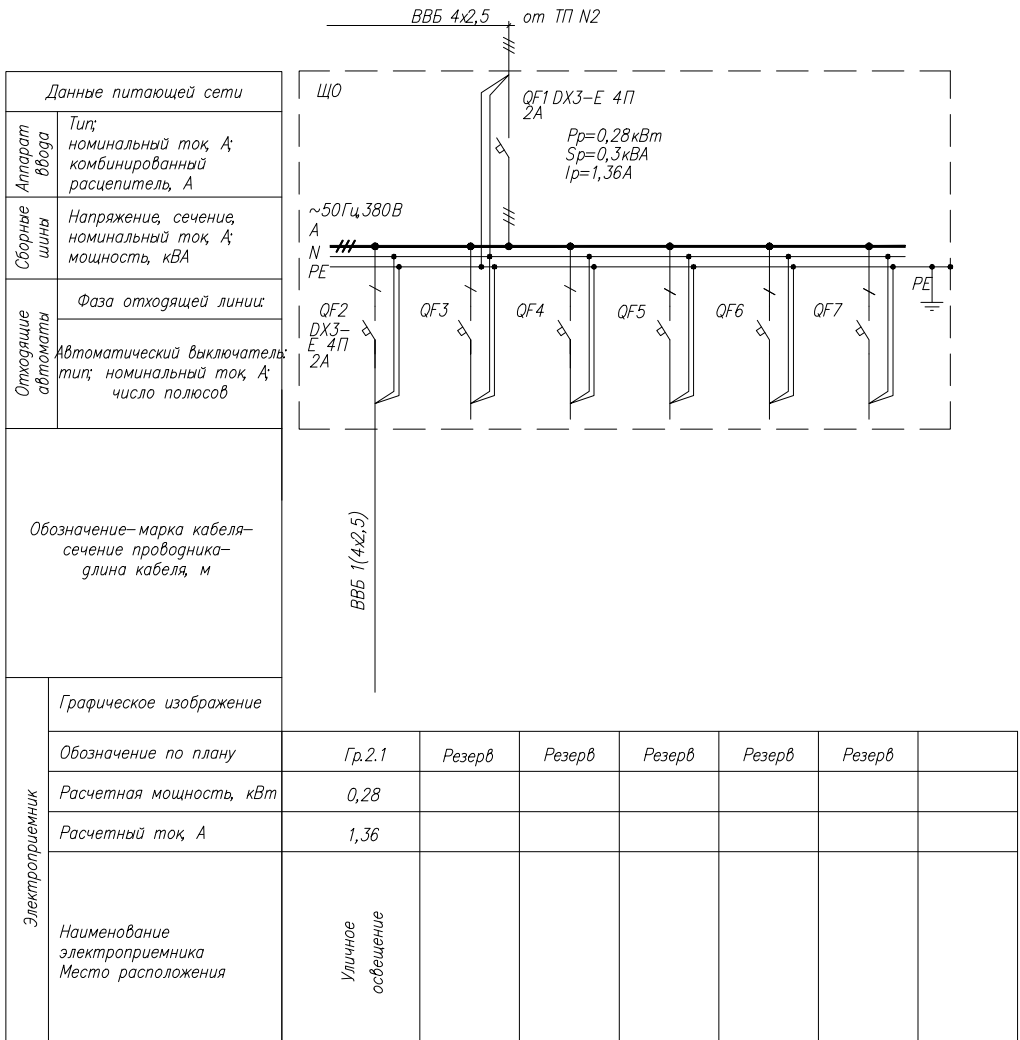
# ПРИЛОЖЕНИЕ Б



					<b>ФЮРА. 4ВМ5А.1.1 СБ</b>			
					<i>Энергосберегающие технологии в формировании световой среды жилых микрорайонов</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Жилой массив</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Бердалиев Б.Ж.						
Пров.		Гречкина Т.В.						
Т.контр.						Лист 1	Листов 3	
Н.контр.					<b>Однолинейная схема питания ОУ</b>			
Утв.					ТПУ Группа		ЛИСТ 4ВМ 5А	

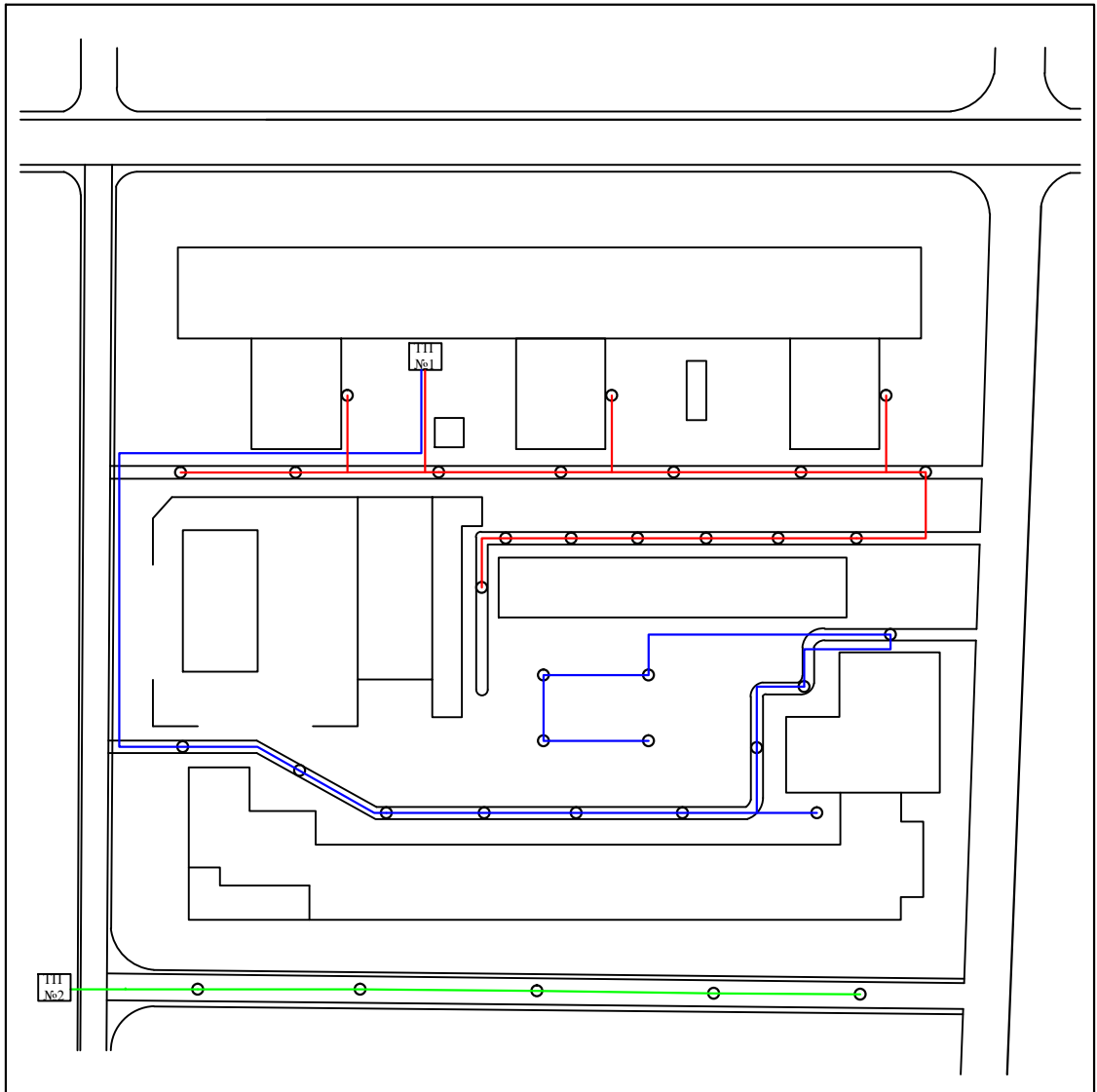


# ПРИЛОЖЕНИЕ Б



					<b>ФЮРА. 4ВМ5А.1.2 СБ</b>		
					<i>Энергосберегающие технологии в формировании световой среды жилых микрорайонов</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Жилой массив</b>		
Разраб.	Бердалиев Б.Ж.						
Пров.	Гречкина Т.В.						
Т.контр.							
					Лит.	Масса	Масштаб
					Лист 2		Листов 3
					<b>Однолинейная схема питания ОУ</b>		
					ТПУ Группа		ЛИСТ 4ВМ5А

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б



### Условные обозначения

- Кабельные линии для питания 1.1 гр. ОУ
- Кабельные линии для питания 1.2 гр. ОУ
- Кабельные линии для питания 2.1 гр. ОУ

					<b>ФЮРА. 4ВМ5А.1.3 СБ</b>					
					<i>Энергосберегающие технологии в формировании световой среды жилых микрорайонов</i>					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<b>Жилой массив</b>			<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Бердалиев Б.Ж.</i>								
<i>Пров.</i>		<i>Гречкина Т.В.</i>								
<i>Т.контр.</i>								<i>Лист 3</i>	<i>Листов 3</i>	
<i>Н.контр.</i>					<b>Схема трассировки кабелей</b>			<i>ТПУ Группа</i>		<i>ЛИСТ 4ВМ5А</i>
<i>Утв.</i>										