



Исследование влияния параметров и характеристик офисно-административных светильников на эффективность осветительных установок с системами управления

Калошина И.А. УДК стр. 100, рис. 34, табл.22, прил. 2.

#### Аннотация

Рассмотрены вопросы энергосбережения в области светотехники и проведена оценка эффективности использования систем управления освещением. Показано, что при проектировании осветительной усновки необходимо знать спад светового потока используемых светодиодных светильников, а также вероятность выхода из строя элементов светильников. Проведены расчеты нормируемых параметров для различных типов помещений образовательных учреждений. Проведенный технико-экономический анализ показал, что срок окупаемости эффективных решений при современных ценах на элнетроэнергию и годовых темпах роста цен (10%) составляет 9 -12 лет в зависимости от типа помещения, поэтому применение таких систем в наше время вряд ли можно считать целесообразным.

#### Summary

The questions of energy saving in the field of lighting engineering are considered and the efficiency of using lighting control systems is estimated. It is shown that in the design of the lighting system, it is necessary to know the decline in the light flux of the used led lamps, as well as the probability of failure of the elements of the lamps. The calculations of normalized parameters for different types of educational institutions. The conducted technical and economic analysis showed that the payback period of effective solutions at current prices for electricity and annual price growth rates (10%) is 9 -12 years depending on the type of premises, so the use of such systems in our time can hardly be considered appropriate.

# НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«МЭИ»

Институт ИРЭ Кафедра Светотехники

Направление 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

## ЗАДАНИЕ НА МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ

по программе подготовки магистров Теоретическая и прикладная  
светотехника

Тема Исследование влияние параметров и характеристик

офисно-административных светильников на эффективность осветительных  
установок с системами управления

Время выполнения работы с 01.09.2016 г. по 15.06.2018 г.

Студент Калошина И.А. ЭР-04М-16  
*Фамилия, и., о. группа подпись*

Научный руководитель доцент Елисеев Н.П.  
*должность, звание, фамилия, и., о.*

Консультант \_\_\_\_\_

*должность, звание, фамилия, и., о.*

Консультант \_\_\_\_\_

*должность, звание, фамилия, и., о.*

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

Место выполнения научной работы НИУ «МЭИ»

кафедра Светотехники

Москва «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

## **1.Обоснование выбора темы диссертационной работы**

Стремительное уменьшение запасов энергетических ресурсов делают проблему экономии электроэнергии на нужды освещения чрезвычайно важной для всех стран. Таким образом, большую значимость принимают возможные способы повышения эффективности осветительной установки. В наши дни существует широкий ассортимент технических средств для решения этой проблемы. Поэтому является весьма актуальным проведение исследований о влиянии параметров и характеристик применяемых технических средств в осветительных установках внутреннего освещения на целесообразность их применения и влияния эффективность осветительных установок.

**Научный руководитель** \_\_\_\_\_ Елисеев Н. П. \_\_\_\_\_ **дата** \_\_\_\_\_

**Студент** \_\_\_\_\_ Калошина И. А. \_\_\_\_\_ **дата** \_\_\_\_\_

## **2.Консультации по разделу**

---

---

---

---

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

## **3.Консультации по разделу**

---

---

---

---

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

#### 4. План работы над магистерской диссертацией

№ п\п	Содержание разделов	Срок выполнения	Трудоёмкость в %
<b>I.</b>	<p align="center"><b>Теоретическая часть</b></p> <p>1. Обзор тематической литературы</p> <p>2. Обзор современного ассортимента применяемых технических средств</p>	<p>01.09.16 31.05.17</p> <p align="center">–</p> <p>1.09.17 1.10.17</p>	<p align="center">5%</p> <p align="center">10%</p>
<b>II.</b>	<p align="center"><b>Светотехническая часть</b></p> <p>1. Моделирование установки внутреннего освещения</p> <p>2. Проведение расчетов, подготовка и анализ результатов</p>	<p>2.10.17 20.10.17</p> <p align="center">–</p> <p>21.10.17 15.04.18</p>	<p align="center">10%</p> <p align="center">35%</p>
<b>III.</b>	<p align="center"><b>Расчетная часть</b></p> <p>1. Проведение экономических расчетов эффективности осветительных установок</p>	<p>16.04.18 9.05.18</p>	<p align="center">25%</p>
<b>IV.</b>	<p align="center"><b>Оформление диссертации</b></p> <p>Написание и оформления диссертации</p>	<p>10.05.18 – 17.06.18</p>	<p align="center">15%</p>

## 5. Рекомендуемая литература

1. Ю.Б. Айзенберг Энергосбережение в освещении/ Ю.Б. Айзенберг, Л.П. Варфоломеев// Дом света, издательство «Знак». – 1999. – С268.

2. Диссертация. Исследование и оптимизация энергопотребления в осветительных установках вн утреннего освещения с автоматическим управлением. Фомина А.Г. МЭИ. 2000 год.

3. Ф. Е. Шуберт « Светодиоды» / пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд.-М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.

---

---

---

---

---

---

---

---

## 6. Краткие сведения о студенте:

Домашний адрес г. Тамбов, ул. Комиссара Московского д.68, кв.2

Телефон служебный \_\_\_\_\_ домашний +7 (926)–142–96-25

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

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	11
1 АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ .....	13
1.1 Энергосбережение .....	13
1.2 Принцип работы и устройство СД.....	20
1.3 Способы получения белого света .....	23
1.4 Основные характеристики светодиодных осветительных приборов... 25	
1.5 Автоматизированные системы управлением освещением .....	28
1.6 Выводы по главе .....	34
2 СВЕТОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	35
2.1 Описание исследуемых помещений .....	35
2.2 Действующая ОУ .....	38
2.3 Выбор системы освещения.....	38
2.4 Выбор уровней освещенности и качественных характеристик .....	39
2.5 Выбор ИС и СП.....	39
2.6 Выбор коэффициента запаса для СОП .....	40
2.7 Определение количества светильников в аудитории Н-202.....	45
2.8 Результаты расчета ОУ помещения № 1 .....	46
2.9 Расчет удельной мощности помещения №1 .....	54
2.10 Расчет прямого слепящего действия помещения №1 .....	55
2.11 Определение количества светильников в аудитории Б-305 .....	56
2.12 Результаты расчета ОУ помещения № 2 .....	57
2.13 Расчет удельной мощности помещений помещения №2.....	63
2.14 Расчет прямого слепящего действия помещения №2 .....	64
2.15 Разработка эффективных вариантов ОУ с применением СУО .....	64
2.16 Выводы по главе .....	74
3 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	75
3.1 Расчет основных технико-экономических показателей .....	76
3.2 Выводы по экономической части.....	84

ВЫВОДЫ.....	86
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	88
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	96

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЭЭ – электроэнергия

ОУ – осветительная установка

ИС – источник света

ЛН – лампа накаливания

ЛЛ – люминесцентная лампа

МГЛ – металлогалогенная лампа

ДРЛ – дуговая ртутная лампа

КЛЛ – компактная люминесцентная лампа

СД – светоизлучающий диод

ПРА – пускорегулирующий аппарат

АСУО – автоматизированная система управления освещением

ЭПРА – электронный пускорегулирующий аппарат

ЭмПРА – электромагнитный пускорегулирующий аппарат

СП – световой прибор

Тцв - цветовая температура

Кп – коэффициент пульсации

Кз – коэффициент запаса

КПД – коэффициент полезного действия

СОП – светодиодный осветительный прибор

КСС – кривая силы свет

## ВВЕДЕНИЕ

Рост потребления электроэнергии – одна из основных тенденций развития мировой экономики. В соответствии с прогнозом Международного энергетического агентства, к 2025 году потребление электроэнергии в мире вырастет до 26 трлн. кВт·ч по сравнению с 14,8 трлн. кВт·ч в 2003 году. При этом установленная мощность электростанций вырастет с 3400 ГВт в 2003 году до 5500 ГВт в 2025 г [1].

Следует учесть тот факт, что уже некоторые страны достигли такого уровня производства, что вынуждены прибегнуть к импорту электроэнергии из других стран. Подобные методы являются затратными, в связи, с чем увеличивается и стоимость электроэнергии для населения.

Однако увеличить выработку электроэнергии в соответствии с прогнозируемым возрастающим потреблением становится с каждым годом все более затруднительно по ряду причин. Одна из них – загрязнение окружающей среды. Согласно данным Energy Information Administration (EIA) в России основными источниками электроэнергии являются тепловые электростанции (ТЭС) (63%), гидроэлектростанции (ГЭС) (21%) и атомные электростанции (АЭС) (16%) [2]. Ни один из этих источников не является безопасным для окружающей среды, так как побочные продукты каждого из производств губительны для экологии. Наибольшее распространение получили газовые и угольные ТЭС, побочным действием которых является выделение углекислого газа (CO<sub>2</sub>). Выброс этого газа считается одним из главных факторов, приводящих к парниковому эффекту. За 2007 г. в атмосферу попало 29000 Мт (CO<sub>2</sub>) [3], и объемы выбросов постоянно растут, несмотря на подписанный многими странами Киотский протокол, ограничивающий выбросы углекислого газа. Поэтому необходимо каким-то образом уменьшать потребление электроэнергии или хотя бы стараться поддерживать его постоянным.

Практически любая деятельность человека невозможна без электрического освещения. Во всем мире на наружное, бытовое и производственное освещение затрачивается значительная часть производимой электроэнергии.

Энергопотребление, а следовательно и расходы на электроэнергию в общественных зданиях составляют большую часть затрат, поэтому внедрение современных энергоэффективных осветительных установок в зданиях такого типа является первостепенной задачей. Если говорить о расходах на цели освещения, то необходимо не уменьшать освещенности, а более эффективно и рационально использовать электроэнергию. Одно из решений данной проблемы – это использование светодиодов. Светодиоды – это перспективный и энергоэкономичный источник света, обладающий рядом преимуществ перед традиционными источниками света: большим сроком службы, высокой световой отдачей, высокой цветопередачей, эстетичностью, экологичностью, надежностью, высокой прочностью, простотой включения, возможностью управления световым потоком и получение различных спектральных составов.

При использовании светодиодных источников света важны их параметры и характеристики, такие как световой поток и его спад, температура кристалла, световая отдача, срок службы. Следует отметить, что с увеличением температуры кристалла наблюдается резкий спад светового потока, который в свою очередь приводит к снижению срока службы изделия. Эти и многие другие особенности светодиодов до сих пор не изучены.

Поэтому актуальность работы посвященная проблемам энергосбережения не вызывает сомнений.

# 1 АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ

## 1.1 Энергосбережение

Потребление электроэнергии (ЭЭ) в России с 2000 г. увеличилось почти на 20% и одновременно с ростом потребляемой энергии растут и затраты на ее производство [4]. Российская Федерация утвердила программу, стимулирующую экономию ЭЭ, а также переход на энергосберегающее освещение [4]. Одной из важнейших стратегических задач страны является сокращение энергоемкости отечественной экономики на 40% к 2020 году. Для ее реализации необходимо создание совершенной системы управления энергоэффективностью и энергосбережением. Такими нормативными документами являются:

– федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23 ноября 2009 года, который установил правовые, экономические и организационные основы стимулирования энергосбережения и определил основные требования к энергетической эффективности предприятий, организаций, ввел обязательный контроль и учет энергоресурсов;

– «Нормы энергосбережения при проектировании осветительных установок г. Москвы», МГСН 2.01-99, утвержденные Правительством Москвы 23.02.99г;

– технический регламент таможенного союза «Об информировании потребителя об энергетической эффективности электрических энергопотребляющих устройств».

Технологии по энергосбережению прогрессируют, развитые страны имеют высокое оснащение технологическим оборудованием, но каким это образом сказывается на глобальном потреблении энергии в расчете на одного жителя?

Даже при низкой энергоэффективности развивающихся стран, высокой энергоёмкости промышленности, норма потребления на человека исключительно низкая. Так, например, в Филиппинах и Индии потребление на душу населения в среднем по 800 кВт·час за год. Потребление в Китае составляет всего 3700 кВт·час в год на человека. В то же время, в группе развитых стран расход ЭЭ составляет более 8 тысяч кВт·час, а в США около 14 тысяч кВт·час на душу населения. Как видно, норма потребления в развитых странах в среднем в 5-6 раз выше, чем в развивающихся и в 10 раз выше, чем в Африке и на Ближнем Востоке. В статистике учитывается не только бытовое потребление, но также бизнес, промышленность, объекты инфраструктуры, т.е. совокупное потребление электроэнергии страны, делённое на количество жителей [6]. На рисунке 1.1 представлен график энергопотребления на душу населения в разных странах в период с 1990 г. – 2014 г..

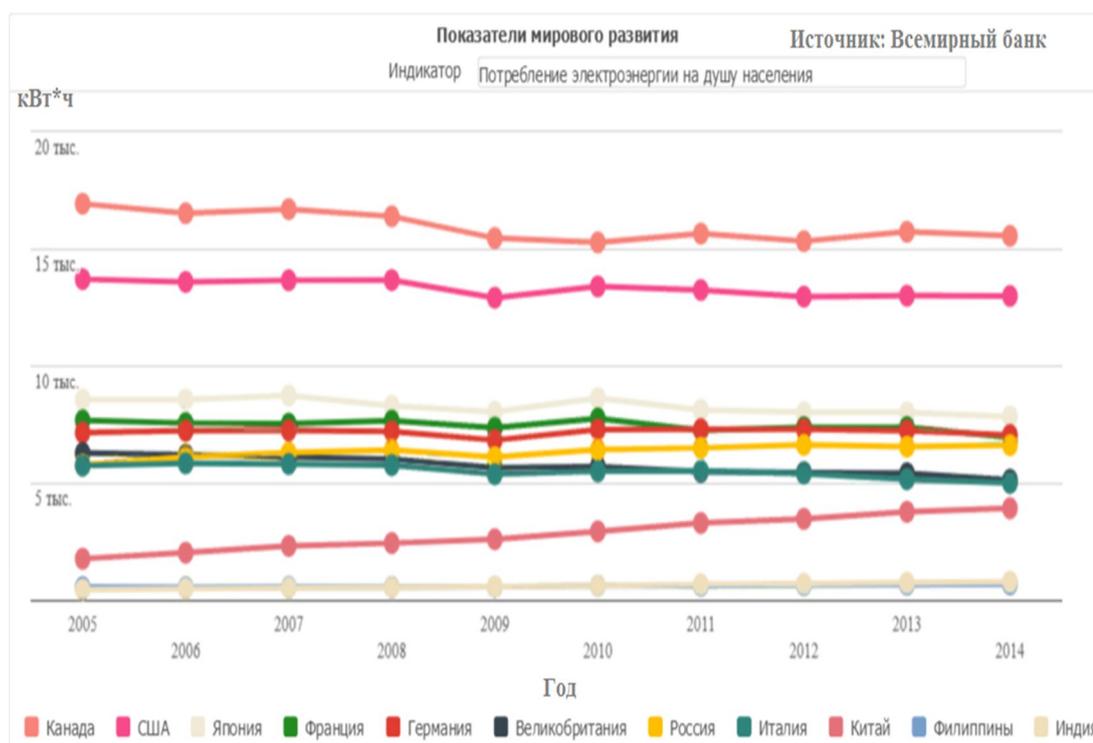


Рис. 1.1 – Электропотребление на душу населения в разных странах в период с (1990 - 2014) гг

Из рисунка 1.1 следует, что потребление ЭЭ увеличивается, в основном, в странах, имеющих исключительно низкую норму потребления ЭЭ. Т.е. рост

обеспечивается путем выравнивания уровня жизни. При этом развитые страны либо сокращают потребление, либо не увеличивают душевое потребление, но учитывая абсолютные цифры незначительное сокращение потребления никак не сказывается на уровне жизни. В таблице 1.1 представлены данные потребления ЭЭ в странах «Большой восьмерки» [6]. Все значения сравниваются со значениями предыдущего года начиная с 2010 г. Красным цветом обозначено увеличение ЭЭ, зеленым – снижение.

Таблица 1.1 Потребление ЭЭ в странах «Большой восьмерки» с 2010 по 2016 годы, млрд. кВт·ч.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Германия	547	541	540	537	526	533	533
Италия	310	314	307	297	291	299	293
Канада	506	516	524	527	519	516	498
<b>Россия</b>	<b>851</b>	<b>856</b>	<b>875</b>	<b>872</b>	<b>877</b>	<b>872</b>	<b>887</b>
Великобритания	337	326	325	325	311	311	307
США	3894	3885	3881	3873	3854	3898	3867
Франция	472	443	454	457	432	440	448
Япония	1037	979	978	983	966	940	927

В период с 2010 по 2016 годы потребление электроэнергии в странах Большой восьмерки уменьшилось в среднем на 5%, за исключением России. В нашей стране потребление ЭЭ продолжает увеличиваться и за представленный период времени этот прирост составил 4%. Это является свидетельством замедленного роста валового внутреннего продукта (ВВП), которое привело к снижению темпов роста промышленного производства и снижению уровня инвестиций в модернизацию производств, что оказало значительное

отрицательное влияние на повышение энергоэффективности и энергосбережение.

В нашей стране большая доля расходов ЭЭ приходится на освещение, она составляет в среднем 19–20 % общего объема потребления [7]. При анализе расходов ЭЭ следует обратить внимание на то, какая ее часть расходуется на освещение в отдельных категориях. Так, например, в офисных зданиях тратится порядка 30-40% от всего объема потребляемой в них ЭЭ, а расход электричества в общественных зданиях на такие нужды составляет больше половины [8]. Потребление ЭЭ на наружное освещение парков, скверов, набережных, дворовых участков, декоративное и рекламное освещение принимается в размере 8% по данным Международного энергетического агентства (МЭА) [9]. На рисунке 1.2 представлены статистические данные по затратам ЭЭ по секторам (МЭА).

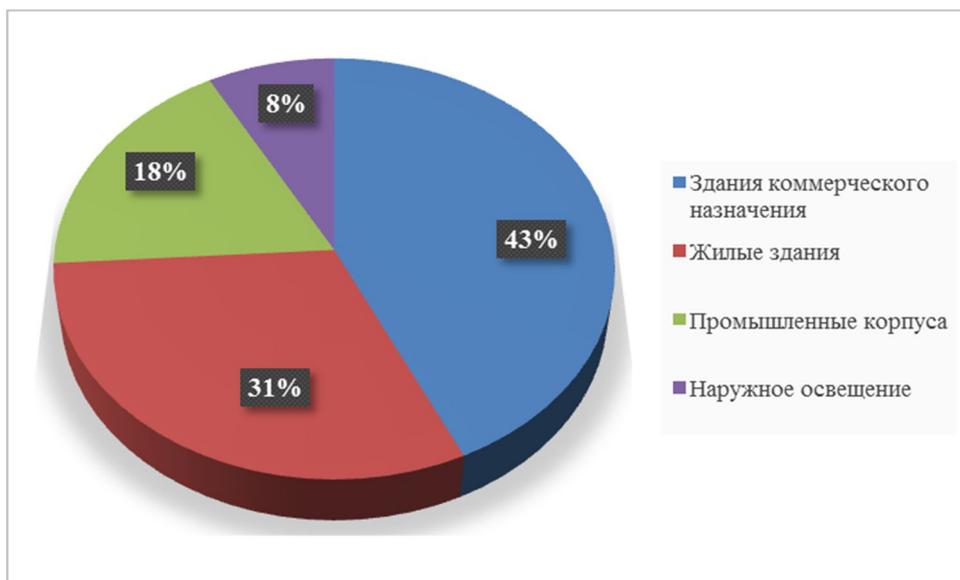


Рис. 1.2 – Статистические данные по затратам электроэнергии по секторам (МЭА)

С учетом постоянно растущих тарифов на ЭЭ это ведет к значительному расходу финансовых средств на эти цели. Данная проблема усугубляется тем, что период наибольшего потребления электроэнергии на освещение, как правило, совпадает с общесистемным вечерним максимумом нагрузки. Поэтому, задача снижения потребления ЭЭ на освещение актуальна как для отдельных потребителей, так и для энергосистемы в целом [10].

Исходя из анализа объема ЭЭ, расходуемой на цели освещения в разных секторах, наиболее интересным и наиболее значимым является сектор общественных и административных зданий. В настоящее время в таких зданиях, как правило, почти вся электроэнергия, идущая на освещение, расходуется недостаточно эффективно – используются устаревшие неэкономичные источники света и светильники, не уделяется должного внимания выбору систем освещения, размещению светильников, вопросам регулирования и эксплуатации осветительной установки (ОУ). К тому же в общественных зданиях отсутствует персональная заинтересованность в экономии электроэнергии: пользователи могут забывать выключать ОУ в конце рабочего дня, а также в редко используемых помещениях при отсутствии в них людей. Применение энергосберегающих технологий может позволить сэкономить значительную долю ЭЭ.

Экономия электроэнергии на освещение не должна достигаться за счет перехода к уровням освещенности ниже нормируемых показателей или отказа от использования искусственного освещения при недостаточном уровне естественного света, поскольку потери от ухудшения условий освещения значительно превосходят стоимость сэкономленной электроэнергии [18].

В общем случае энергопотребление ОУ определяется величиной электрической нагрузки и временем ее использования:

$$Q_{oy} = \int_0^t P_{oy}(t) dt, \quad (1.1)$$

где  $t$  – время работы ОУ, а  $P_{oy}$  – мгновенная мощность ОУ

Установленная мощность ОУ, которая рассчитывается на стадии проектирования, может быть найдена по следующему выражению:

$$P_{oy} = \frac{E_n \times K_3 \times A \times z}{U_{oy} \times \eta}, \quad (1.2)$$

где  $E_n$  – нормируемое значение освещенности;  $K_3$  – коэффициент запаса;  $S$  – площадь освещаемой поверхности;  $z$  – коэффициент, учитывающий

неравномерность освещения;  $U_{oy}$  – коэффициент использования ОУ;  $\eta$  – световая отдача светового прибора (СП).

Как видно из формул (1.1) и (1.2) энергопотребление ОУ определяется:

- числом часов использования ОУ в год;
- световой отдачей СП;
- коэффициентом использования потока, зависящий от кривой силы света (КСС) и КПД СП от особенностей освещаемого помещения, в частности, геометрических параметров и коэффициентов отражения пола, потолка и стен;
- коэффициентом запаса, учитывающий спад светового потока осветительной установки в течение срока службы, способ обслуживания ОУ, отклонение светового потока от номинального, а также старение ламп.

Таким образом, снижения мощности осветительной установки (ОУ) можно добиться за счет:

- правильного выбора системы освещения и типов источников света (ИС);
- принятия экономичных схем размещения светильников;
- правильного выбора типов светильников по светораспределению и конструктивному исполнению.

В настоящее время в ОУ общественных зданий могут использоваться такие ИС: люминесцентные лампы (ЛЛ); компактные люминесцентные лампы (КЛЛ); светодиодные ИС (СД) [11].

Световая отдача ЛЛ составляет 50—104 лм/Вт [12], что намного выше, чем у ламп накаливания (ЛН). Срок службы ЛЛ 10000-50000 ч [12, 13]. Все разрядные ИС не могут напрямую подключаться к питающей сети, они могут подключаться только с помощью пускорегулирующего аппарата (ПРА), поэтому большинство характеристик всех разрядных ИС, в том числе и ЛЛ, зависят от параметров и характеристик ПРА. В качестве балластов используются дроссели, в которых потери мощности составляют от 10 до 100% от мощности лампы. По энергоэффективности за рубежом балласт для ЛЛ

делят на три класса: D – с «нормальными потерями» (для ламп мощностью 18Вт – до 30%, 36 Вт – 25%), класс C – с «пониженными потерями» (25%, 20%, 15%), класс B – с «особо низкими потерями» (20%, 15%, 12%) [14]. В Российском ГОСТ 19680 [15] нет деления дросселей на классы и практически все российские дроссели относятся к классу D. Многие недостатки комплекта «Лампа+ПРА» могут устраняться при использовании ЭПРА. Принципиальное отличие электронных схем включения ЛЛ от стартерно-дроссельных заключается в том, что лампы в таких схемах питаются током высокой частоты. Из-за особенностей высокочастотного разряда увеличивается световая отдача ламп, а глубина пульсаций уменьшается примерно до 5% [14]. ЭПРА сочетают в себе функции зажигания ламп, ограничение рабочего тока и коррекция коэффициента мощности. Расширяется возможность регулирования светового потока ламп.

В таблице 1.2 представлена классификация ПРА по индексу энергоэффективности (на примере комплекта ПРА+ЛЛ 36 Вт Т8) [16].

Таблица 1.2 Классификация ПРА по индексу энергоэффективности (на примере комплекта ПРА+ЛЛ 36 Вт Т8)

Класс	Тип ПРА	Мощность, потребляемая комплектом ЛЛ+ПРА, Вт	Экономия электроэнергии, %
A1	Регулируемые ЭПРА	£ 38/19 (при регулировании светового потока от 100 до 25 %)	15,5 - 58
A2	ЭПРА с низкими потерями	£ 36	20
A3	ЭПРА	£ 38	15,5
B1	ЭмПРА с очень низкими потерями	£ 41	9
B2	ЭмПРА с низкими потерями	£ 43	4,4
C	ЭмПРА со средними потерями	£ 45	0
D	ЭмПРА с высокими потерями	£ 45	0

На сегодняшний день наиболее перспективными ИС являются светодиоды. Несмотря на то, что массовое производство СД началось более 40 лет назад, использоваться непосредственно для освещения, а не для индикации и подсветки, они стали относительно недавно. СД имеет очень большой срок службы (до 50 тыс. ч) и высокую световую отдачу. На лабораторных образцах СД достигнута рекордная световая отдача — 250 лм/Вт; доступные СД некоторых фирм (Cree, Philips, OSRAM) имеют световую отдачу более 100 лм/Вт. В области энергосбережения ИС на базе СД открывают беспрецедентные перспективы [19]. Как и любой другой ИС они имеют свои достоинства и недостатки, которые необходимо рассмотреть подробнее.

## 1.2 Принцип работы и устройство СД

Светодиод — полупроводниковый диод, излучающий свет при прохождении тока через р-п — переход в прямом направлении.

Свечение возникает при рекомбинации электронов и дырок в области р-п-перехода, то есть контакта двух полупроводников с разными типами проводимости. Для большинства полупроводниковых диодов свечение — просто "побочный эффект", снижающий КПД. Для светодиодов же излучательная рекомбинация — физическая основа их работы.

Чтобы создать р-п-переход, приконтактные слои полупроводникового кристалла легируют разными примесями: по одну сторону акцепторными (р-область), по другую — донорными (п-область) (рисунок 1.3).

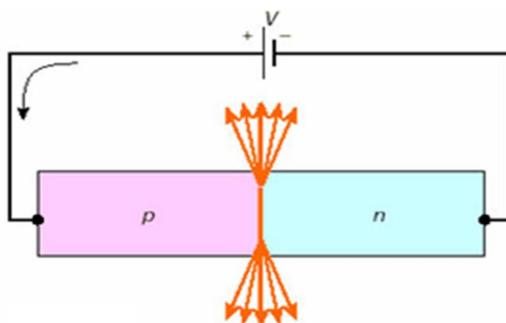


Рис. 1.3 – Схема и энергетическая диаграмма р-п-перехода

Чтобы р-п-переход излучал свет, должны выполняться следующие условия: во-первых, ширина запрещённой зоны ( $E_g$ ) в активной области светодиода должна быть близка к энергии квантов света видимого диапазона; во-вторых, вероятность излучения при рекомбинации электронно-дырочных пар должна быть высокой, для чего полупроводниковый кристалл должен содержать мало дефектов, из-за которых рекомбинация происходит без излучения. Эти условия в той или иной степени противоречат друг другу.

Реально, чтобы соблюсти оба условия, одного р-п-перехода в кристалле оказывается недостаточно, и приходится изготавливать многослойные полупроводниковые структуры, так называемые гетероструктуры, за изучение которых российский физик академик Жорес Алферов получил Нобелевскую премию 2000 года [19]. Использование гетеропереходов позволяет добиться направленной инжекции носителей в область диода, в которой происходит излучательная рекомбинация. Использование квантовых ям способствует локализации носителей заряда в тонком слое активной области, тем самым увеличив вероятность рекомбинации [20].

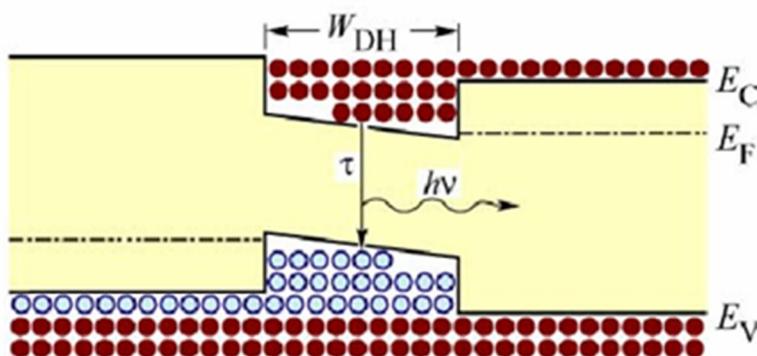


Рис. 1.4 – Энергетическая диаграмма прямосмещённого р-п гетероперехода

Цвет излучения светодиода зависит от ширины запрещённой зоны, в которой рекомбинируют электроны и дырки, то есть от материала полупроводника, и от легирующих примесей. Чем «синее» светодиод (то есть, чем меньше длина волны максимума его излучения), тем выше энергия

квантов, а значит, тем больше ширина запрещённой зоны (рисунок 1.4, 1.5) [19].

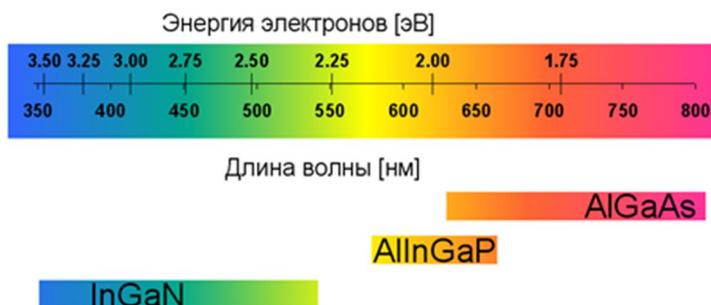


Рис. 1.5 – Схематическое изображение «охвата» видимого диапазона современными полупроводниковыми излучающими материалами

Форма спектров СД зависит от множества факторов, таких как ширина запрещённой зоны, распределения электронных и дырочных состояний вблизи дна зоны проводимости, особенностей квантовых ям и пр. (рисунок 1.6) [20].

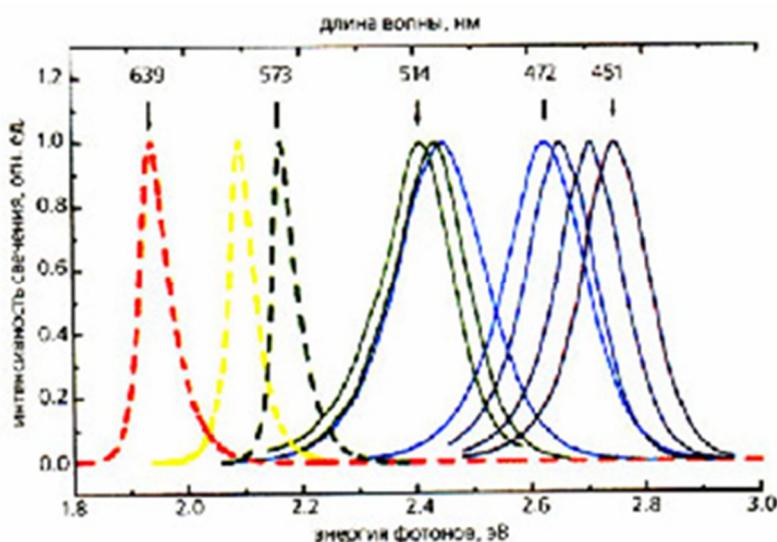


Рис. 1.6 – Спектры СД на основе гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN (сплошные линии) и AlInGaP/GaP (штриховые)

Светодиод может состоять из нескольких чипов с различными цветами свечения или одного чипа с несколькими p-n-переходами, излучающими в различных спектральных полосах. Он также может содержать управляющую микросхему, позволяющую подбирать цвет свечения и его интенсивность.

СД состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Конструкция мощного светодиода серии Luxeon, выпускаемой компанией Lumileds, схематически изображена на рисунке 1.7.

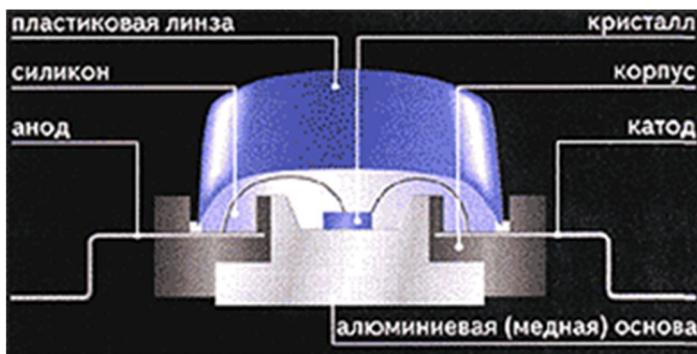


Рис. 1.7 – Конструкция СД Luxeon K2

Светоизлучающий кристалл закреплён на теплоотводящей подложке (основе). При приложении прямого напряжения к р-п-переходу кристалла через катод и анод в нём генерируется излучение. Часть его не выходит из кристалла, так как в нём проходит фотолюминесценция, а другая, большая часть – через линзу выходит наружу. Кристалл, подложка и внутренние электроды залиты прозрачным полимером с максимально высоким коэффициентом преломления, образующим корпус СД. Купол корпуса выполняет функции линзы или рассеивателя, в зависимости от требуемой кривой силы света (КСС) СД.

### 1.3 Способы получения белого света

Наиболее важные перспективы применений светодиодов связаны с их использованием в ОУ общего освещения. Основой для этих применений являются светодиоды белого свечения (белые СД). Существует 3 способа создания белых СД, каждый из них имеет свои достоинства и недостатки (рисунок 1.8).



Рис. 1.8. – Способы создания белого излучения

Один из них – смешение излучения трёх люминофоров (красного, зелёного и голубого), возбуждаемых ультрафиолетовым светодиодом. Этот способ использует принципы, разработанные применительно к люминесцентных ламп.

Второй способ – смешение голубого излучения СД с излучением либо желто-зелёного люминофора, либо зелёного и красного люминофоров, возбуждаемых этим голубым излучением. Этот способ прост и в настоящее время наиболее экономичен [21]. На рисунке 1.9 представлен спектр белого люминофорного светодиода, полученного вторым способом. Первый, ярко выраженный пик в голубой области обусловлен излучением кристалла, второй, более широкий - излучением люминофора.

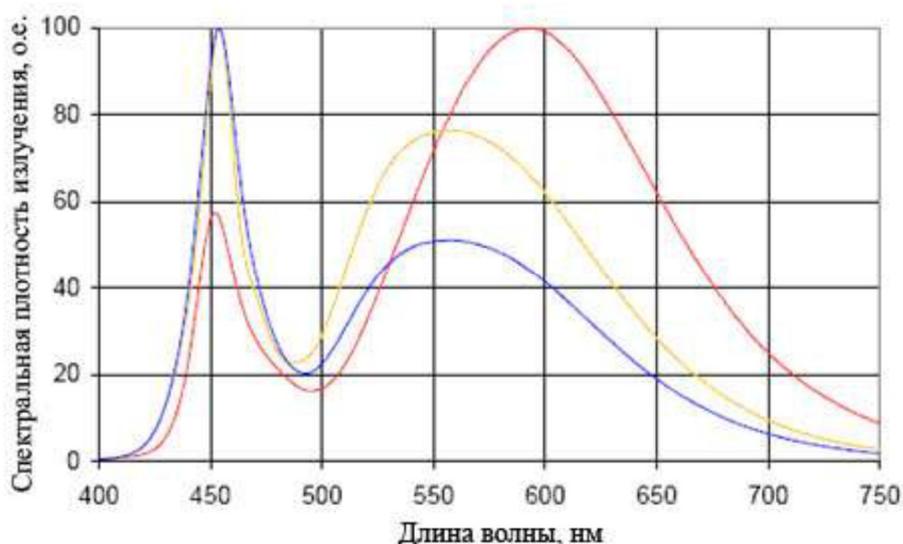


Рис. 1.9 – Спектральная плотность излучения белых люминофорных светодиодов

Третий способ – смешение излучения СД трёх цветов. Метод RGB дает возможность создавать белый свет необходимого оттенка, позволяющего

подчеркивать освещаемые цвета. Однако для создания белого цвета RGB требуется сравнительно сложное оборудование, так как в одном источнике необходимо использовать сразу три светодиода. При этом получаемый свет неестественно передает пастельные тона, что является основным следствием низкого индекса цветопередачи белого света, полученного методом RGB [22].

При использовании ОП на базе белых СД нужно уделять внимание цветовым характеристикам, так как существует целый ряд факторов, влияющих на изменение данных характеристик.

#### 1.4 Основные характеристики светодиодных осветительных приборов

С точки зрения светотехники светодиодные СП принято характеризовать следующими параметрами:

1. Световым потоком. В отдельных каталогах разработчики приводят значение светового потока светодиодов, а не самого светильника. Данное представление технических характеристик светодиодов позволяет потребителю уже на начальном этапе эксплуатации предъявить рекламацию производителю на основе результатов измерений, выполненных в одной из существующих в России аккредитованных светотехнических лабораторий. Это может способствовать более ответственному представлению технических параметров в документации к СП.

2. Световой отдачей СП. Этот параметр является одним из важных, поскольку он характеризует световую эффективность СП. Несмотря на это, большинство фирм в своих каталогах его не приводят. На сегодня к хорошим светильникам могут быть отнесены такие, световая отдача которых находится на уровне 100-110 лм/Вт.

3. Сроком службы. Приводимый в технических документах срок службы СП, является также важным параметром, поскольку он определяет экономическую целесообразность их приобретения и эксплуатации.

Большинство разработчиков светодиодных светильников за срок службы принимают период времени, по истечении которого их световой поток уменьшается на 30% [24]. При этом светодиодные источники света остаются работоспособными, поэтому специалистам, выбирающим конкретную фирму изготовителя, необходимо знать, как долго светодиодный источник света будет сохранять достаточно высокий процент исходного светового потока, а не среднее время до выхода из строя источника света.

Обсуждению повышения срока службы светодиодных СП посвящено ряд публикаций [25, 26, 27], но они носят пока только общий характер.

4. Спадом светового потока. Это одна из важнейших характеристик, которая позволяет проанализировать конструкцию и спрогнозировать срок службы. Основной причиной деградации светового потока светодиодов является нарушение температурного режима его работы. При этом отсутствуют средние значения коэффициентов спада светового потока.

Поскольку физический срок службы светодиодных СП может быть больше заявленного, то паспортный срок службы промышленных светильников может быть несколько увеличен, если на этапе проектирования светотехнических систем в расчеты заложить коэффициент запаса по освещенности. Это имеет смысл, так как основное снижение светового потока происходит в первый период эксплуатации СП, который составляет порядка 3000-5000 часов [24].

5. Температурой кристалла. Данный показатель следует учитывать при техническом описании. Описание одной лишь эффективности без учёта уровня тока и температуры р-п перехода ( $T_j$ ), при которых проводили измерения, бессмысленно. Светодиодные СП – приборы с высокой температурной чувствительностью [28]. При увеличении температуры р-п перехода световой поток и срок службы светодиода уменьшаются [22]. На температуру перехода светодиода влияют три фактора: ток, теплоотвод и окружающая температура. Чем выше ток, тем выше температура перехода. Количество тепла, которое может быть отведено, зависит от окружающей температуры и конструкции

устройства отвода тепла от светодиода в среду, окружающую световой прибор [22].

Производители СОП измеряют световой поток при использовании импульса тока длительностью 15–20 мс при фиксированной температуре перехода, равной 25 °С [22]. Температура р-п перехода светодиода при нормальном режиме работы находится в диапазоне 60–90 °С или даже может превышать это значение. Так как рабочая температура перехода почти всегда больше 25 °С, то установленные в световом приборе светодиоды излучают как минимум на 10% меньше света, чем указывают их производители, если дополнительно не предоставлены данные для более высоких температур перехода. На рисунке 1.10 показано, какое влияние оказывает повышение температуры перехода на световой поток светодиодов разных цветов. Янтарные и красные светодиоды наиболее, а синие – наименее чувствительны к изменениям температуры перехода.

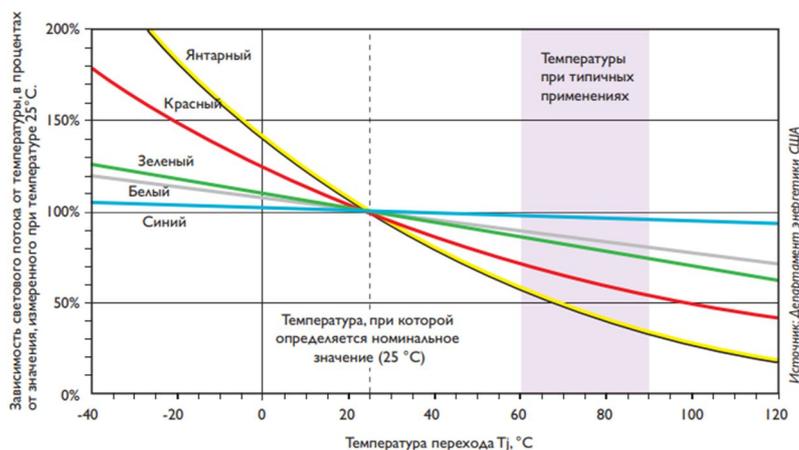


Рис. 1.10 – Зависимость светового потока от температуры р-п перехода

Температура корпуса СП и ее распределение по нему, ни в коей мере не характеризуют температуру р-п перехода. Как можно подобрать подходящий светодиод, если температурная зависимость светового потока (или силы света) светодиода и взаимосвязь между внешней температурой и температурой кристалла при данных, динамично изменяющихся условиях неизвестны? Найти такие зависимости в каталогах и технических описаниях фирм-изготовителей можно не так уж и часто. Чтобы разработчики, исследователи и потребители

новых революционных источников света могли говорить на одном языке, необходимо серьёзно подходить к формулировке используемых определений и величин, при анализе параметров указывать условия измерений и рабочего режима.

6. Параметры и характеристики драйвера светильника. Одним из необходимым блоков светодиодных СП является вторичный электронный источник питания светодиодов – драйвер. Срок службы СП определяется не сроком службы СД, а сроком службы драйвера. В литературе отсутствуют сведения о сроке службы драйвера. При определении журналом «Современная светотехника» рейтинга 12 заявленных драйверов известных отечественных и мировых производителей, были приведены в сравнительном плане многие их технические параметры за исключением самого важного параметра для разработчика СП и потребителя – срока их службы [29, 30].

Это позволяет утверждать, что в настоящее время целесообразно применение, для внутреннего освещения общественных зданий, светодиодных СП. Использование систем управления освещением, совместно с СП позволят сократить время использования искусственного освещения и снизить потребляемую мощность ОУ.

### 1.5 Автоматизированные системы управлением освещением

Системы управления освещением должны выбираться с учетом многих факторов, в том числе с учетом размеров помещений и типом зданий. Системы автоматического управления осветительными установками позволяют производить регулирование яркости ИС (ЛЛ, КЛЛ, СД) от 100 % до 0 %.

Для помещений площадью более 50 м<sup>2</sup> следует применять автоматические устройства регулирования искусственного освещения в зависимости от естественной освещенности помещения [31].

На сегодняшний день рынок систем управления внутренним освещением представлен широким спектром различных разработок: от простейших систем,

управляющих одним светильников, до сложных систем, обеспечивающих контроль освещения целого здания и позволяющих координировать свою работу с работой других систем жизнеобеспечения здания: системами вентиляции, кондиционирования, теплоснабжения, охранного видеонаблюдения и т.д.

Наиболее совершенные АСУО, в зависимости от их сложности, должны выполнять следующие функции [32]:

1. Контроль состояния помещений:

– контроль количественных и качественных характеристик освещения в различных зонах помещения;

– учет присутствия людей в освещаемом помещении.

2. Управление освещением:

– возможность включения и выключения освещения либо полностью, либо по группам;

– возможность выбора способа управления: автоматическое, ручное или совместное (автоматизированное);

– возможность выбора способа ручного управления: со стационарного или дистанционного пульта;

– возможность плавной регулировки светового потока ИС как в отдельных светильниках, так и в группах.

3. Контроль параметров питающей сети и режима работы светильников:

– контроль исправности светильников и режима их работы;

– контроль состояния органов управления;

– контроль энергопотребления;

– контроль качества электроэнергии.

4. Передача информации на пост централизованного управления:

– о состоянии помещения;

– о состоянии ОУ и органов управления;

– о состоянии светильников и параметров питающей сети.

Оценка реальной экономии ЭЭ, которая достигается при использовании АСУО, вызывает множество вопросов. Общий уровень экономии, который в своих проспектах указывают производители, может значительно колебаться в зависимости от конкретного случая и конкретной ОУ. Некоторые фирмы заявляют до 80% экономии ЭЭ [33], но, как правило, эталоном их сравнения является ОУ на базе традиционных ЭмПРА, имеющих большие потери мощности, и часть заявленной экономии осуществляется за счет перехода к высокочастотным ЭПРА. Кроме того, данные получены на ОУ различного типа в разных климатических зонах. Во внимание не принимается потребление мощности элементами АСУО, а также потребление мощности светильниками даже при минимальном значении светового потока, которое может достигать не менее 5% номинальной мощности [34].

Из всего вышесказанного следует, что вместо непосредственного рассмотрения конкретных значений экономии ЭЭ целесообразно говорить о долях в общем объеме сэкономленной энергии за счет отдельных факторов (рисунок 1.11).

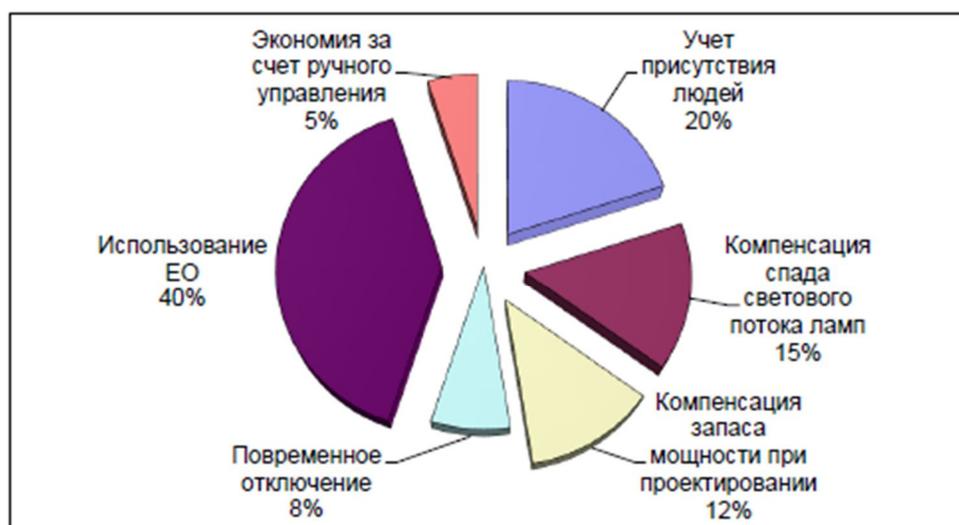


Рис. 1.11 – Доли в общем объеме экономии ЭЭ за счет различных факторов

Рассмотрим каждый фактор более подробно.

1. Плавное регулирование уровня освещенности при спаде светового потока ИС.

Один из недостатков всех ИС – спад светового потока в ходе эксплуатации, уровень которого может достигать 30% к концу срока службы. [33]. Из этого следует, что для обеспечения в ОУ нормируемого уровня освещенности к концу срока службы ЛЛ, необходимо при проектировании обеспечить уровень освещенности выше требуемого. В системах освещения с плавным регулированием мощности, оснащенных обратной связью, спад светового потока ИС может быть скомпенсирован путем поддержания освещенности на заданном уровне. В таких АСУО может быть сэкономлено от 10-20% ЭЭ [33].

2. Экономия за счет компенсации запаса мощности при проектировании ОУ.

Во время проектирования освещения некоторые параметры помещения неизвестны, такие, как расположение мебели или отделка, поэтому должны быть сделаны определенные допущения. В ОУ с плавным регулированием уровня освещенности особенности помещений учитываются автоматически. По предварительным оценкам это приводит к экономии ЭЭ от 10 %. Эта экономия оценивается в процессе проектирования ОУ и уточняется после того, как все ее расчетные параметры точно известны [33].

3. Экономия электроэнергии за счет использования дневного света.

Экономия ЭЭ за счет использования дневного света позволяет сэкономить в среднем от 30 до 50 % ЭЭ, в дневное время при безоблачном небе – до 60 %.

4. Учет присутствия людей в помещении.

При оборудовании АСУО датчиком присутствия можно включать и отключать ОУ в зависимости от того, находятся ли люди в данном помещении. Основной задачей таких датчиков является полное или частичное отключение ОУ при отсутствии в помещении людей. Применение датчиков присутствия оправдано далеко не во всех помещениях, т.к. постоянное включение/выключение светильников ведет к уменьшению срока службы ИС.

Выход заключается в применении задержки отключения установки при отсутствии людей, но при этом теряется часть экономии.

#### 5. Экономия энергии за счет ручного управления освещением.

Вполне очевидно, что наиболее простым способом экономии ЭЭ является полный отказ ручного управления. Однако в большинстве случаев это нежелательно. Экономия ЭЭ осуществляется, как правило, в те моменты времени, когда работа в помещении не требует высокого уровня освещенности и пользователь самостоятельно уменьшает его. Когда же характер зрительной работы требует увеличения уровня освещенности, пользователь забывает отрегулировать установку и тем самым ухудшает световую среду в помещении.

#### 6. Экономия за счет повременного отключения ОУ.

Во время уборки помещений, проведения других работ, не требующих высоких уровней освещенности, и в нерабочее время световой поток ламп может быть значительно снижен, при этом экономия может быть точно определена заранее, однако эти условия необходимо тщательно проанализировать. Современные АСУО позволяют с точностью до минуты выставлять время включения и отключения установки, что дает значительную экономию при освещении больших зданий и крупных офисов.

Кроме того, на экономию электроэнергии при использовании АСУО оказывает влияние алгоритм работы АСУО [32].

Системы управления контролируют горизонтальную освещенность (или яркость горизонтальной поверхности) расчетной плоскости, на основании чего выставляются требуемые уровни мощности одной или нескольких групп светильников (чаще всего рядов, параллельных окнам). Серийно выпускаемые АСУО этого типа используют следующие алгоритмы управления:

1. *Управление с одновременным регулированием*, когда по сигналу одного или реже нескольких фотодиодов происходит одновременное изменение светового потока всех ламп ОУ. Недостатком такого алгоритма управления может являться неравномерность освещения в помещении и небольшая экономия ЭЭ.

2. *Управление с фиксированной разностью потоков*, когда измерение освещенности и вычисление необходимого светового потока производятся только для одного светильника или ряда светильников, значения потоков остальных элементов определяются путем добавления к потоку первого некоторого фиксированного значения. Подобный алгоритм управления требует индивидуальной настройки каждого элемента АСУО, выявление четкого значения разности освещенности. Данный способ не учитывает тот факт, что все ИС стареют по-разному, и запыленность светильников в процессе эксплуатации может быть тоже различной.

3. *Управление с последовательным расчетом световых потоков*, когда по сигналам фотодиодов происходит установление необходимого светового потока одного ряда светильников, затем уже с учетом ЕО и потока первого ряда устанавливается поток следующего ряда, и так до последнего ряда.

Все три описанных алгоритма представляют собой строгие зависимости между опорными яркостями групп светильников и уровнем ЕО, то есть каждому значению опорной яркости ЕО может быть поставлено в соответствие единственное значение мгновенной мощности ОУ. На сегодняшний день существует группа способов управления ОУ, мгновенная мощность которой является случайной величиной.

4. *Стихийное управление*, когда каждый самостоятельный элемент ОУ, например светильник или ряд светильников, управляется независимо от результатов измерения фотодатчиков других рядов.

Сфера применения систем управления освещения очень обширна. Особенно актуальным для данной работы является последний из вышеперечисленных пунктов, так как объектом исследования являются офисные/учебные/административные помещения.

## 1.6 Выводы по главе

Актуальность данной работы заключается во все большем возрастающем внимании к проблемам энергоэффективности освещения в общественных зданиях, что напрямую связано с дороговизной ЭЭ, большим количеством потребителей и, как правило, с неэффективным использованием ЭЭ на освещение в таких зданиях. На сегодняшний день применение энергоэффективных ИС и систем управления освещением является наиболее эффективным способом решения данных проблем.

Цели работы: Оценка влияния параметров и характеристик современных светильников на эффективность ОУ учебных заведений, а также использования в них различных систем управления освещением и алгоритмов их работы.

Задачами данной работы являются:

- Создание оптимальных ОУ для типовых аудиторий учебных заведений.

- Исследование влияния параметров и характеристик светильников, применяемых в офисных и общеобразовательных помещениях на эффективность ОУ.

- Исследование влияния использования систем управления на эффективность.

- Проведение технико-экономического обоснования эффективности использования различных технических решений в ОУ.

## 2 СВЕТОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Описание исследуемых помещений

В качестве объекта исследования были выбраны две лекционные аудитории в учебных корпусах ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Для данного типа зданий характерно то, что ОУ функционирует 8 и более часов в сутки. Начало занятий в 9:20, окончание в 17:10.

#### 2.1.1 Описание помещения № 1

Объект представляет собой лекционную аудиторию Н-202, размером 13,8x11,4x10,7 м, площадью 157,32 м<sup>2</sup>, расположенную по адресу: г. Москва, ул. Красноказарменная, д.13.

Географические координаты: Долгота: 55.45, Широта: 37.38.

Климатические условия: умеренно-континентальный климат, по ресурсам светового климата город Москва относится к первой группе.

Внутренняя планировка: на первом этаже здания расположены 4 типовых лекционных аудитории. Во всех аудиториях есть кафедра и трибуны. Потолок имеет несколько уровней. В помещениях полностью отсутствует естественное освещение. Выполним светотехнический расчет на примере одной аудитории.

В помещении расположены мебель (столы и стулья) и аудиторная доска. Помещение рассчитано на 170 рабочих мест. На рисунке 2.1 представлена визуализация первого помещения в Dialux.



Рис. 2.1 – Визуализация лекционной аудитории Н корпуса

Отделка помещения: для пола использована паркетная доска (коэффициент отражения 0,3), на потолке установлены реечные потолки (коэффициентом отражения 0,7), стены отделаны плиткой из ракушечника (коэффициент отражения 0,6).

#### 2.1.2 Описание помещения № 2

Объект представляет собой лекционную аудиторию Б-305, размером 13,55x7,71x4,05 м, площадью 104,5 м<sup>2</sup>, расположенная по адресу: г. Москва, ул. Красноказарменная, д.17.

Географические координаты: Долгота: 55.75, Широта: 37.70.

Данное помещение имеет прямоугольную форму. В помещении предусмотрено боковое естественное освещение, осуществляемое за счет шести больших окон. Рабочими поверхностями являются поверхности столов находящихся в этом помещении.

На рисунке 2.2 представлена визуализация данного помещения.



Рис. 2.2 – Визуализация лекционной аудитории Б корпуса

Отделка помещения: пол покрыт линолеумом (коэффициент отражения 0,3), потолок побелен (коэффициентом отражения 0,8), стены покрашены бежевой краской (коэффициент отражения 0,5).

В таблице 2.1 представлена экспликация помещений.

Таблица 2.1 Экспликация помещений

№ п/п	Наименование помещения	Размеры помещения			Площадь помещения, м <sup>2</sup>
		длина, м	ширина, м	высота, м	
1	Лекционная аудитория Н-202	13,8	11,4	10,7	157,32
2	Лекционная аудитория Б-305	13,55	7,71	4,05	104,5

## 2.2 Действующая ОУ

В результате визуального осмотра ОУ было определено что, в помещениях выполнено рабочее освещение и реализована система общего равномерного освещения, были определены типы используемых ИС – ЛЛ Т8, СП, расположение и способы управления СП. Данная ОУ является не энергоэффективной, применение ламп такого типа нецелесообразно для экономии ЭЭ в такого рода помещений. Управление СП осуществляется группами по рядам в аудитории Б-305. В зале Н-202 управление осуществляется группами от входа по направлению к доске (светильники сгруппированы по перепаду высот потолка). Из-за такого способа управления в аудиториях отключать часть ОУ нельзя, из-за отсутствия естественного освещения, ОУ должна работать всегда на полную мощность, то есть она не дает возможности реализовать приглушенное освещение, например для презентации.

Далее будет рассмотрено использование современных технических средств с их уровнем параметров и характеристик с целью оценки эффективности ОУ в лекционных аудиториях.

## 2.3 Выбор системы освещения

В основных помещениях образовательных учреждений, как правило, применяется система общего освещения [43]. К таким помещениям относятся классы, учебные кабинеты, аудитории, рекреации, актовые и спортивные залы и т.д. Исключением является классная доска, для освещения которой устанавливаются специальные СП.

## 2.4 Выбор уровней освещенности и качественных характеристик

Выбор уровня освещенности и качественных характеристик производится на основе действующих МГСН 2.06-99 и СНиП 23-05-95\*.

Согласно [36, 37] в аудиториях высших учебных заведений регламентируется горизонтальная освещенность на уровне 0,8 м от пола,  $E_{0,8} = 400$  лк, показатель дискомфорта не более  $M = 40$  на уровне 1,2 м от пола (для основных помещений школ европейские нормы регламентируют обобщенный показатель дискомфорта  $UGR = 19$ ) и коэффициент пульсации не более  $K_{п} = 10\%$ . В случае аудиторий с разным уровнем пола освещенность нормируется на рабочей поверхности (рабочих столах, партах).

Нормируемые значения являются величинами, ниже которых освещенность не должна быть ни в какой момент эксплуатации.

## 2.5 Выбор ИС и СП

Рассмотрим на примере данных ОУ применение светильника со светоизлучающими диодами GALAD Кайро 600 LED-40/В/КЛ/5000, производимый отечественной фирмой GALAD. Внешний вид светильника представлен на рисунке 2.3.

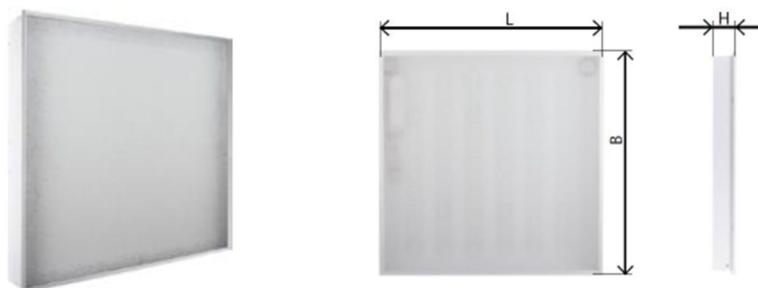


Рис. 2.3 – Внешний вид GALAD Кайро 600 LED-40/В/КЛ/5000

Данный тип СП укомплектован блоком управления освещением по протоколу 1-10 В. Основные характеристики представлены в таблице №2.2 [38].

Таблица 2.2 Основные характеристики СП GALAD Кайро 600 LED 40/В/КЛ/5000

Наименование ОП	GALAD Кайро 600 LED-40/В/КЛ/5000
Частота сети, Гц	50
Напряжение сети, В	220
Потребляемая мощность, Вт	40
Тип КСС	Д
Световой поток, лм	4150
Коэффициент мощности	Не менее 0,96
Цветовая температура Тц, К	5000
Степень защиты	IP20
Класс защиты от поражение электрическим током	1
Тип рассеивателя	Колотый лед
Габаритные размеры, мм	595*595*45
Масса, кг	Не более 3,4
Источник питания	сеть
Вторичный источник питания	драйвер
Срок службы	10 лет

## 2.6 Выбор коэффициента запаса для СОП

В ОУ в течение времени эксплуатации происходит снижение уровня создаваемой освещенности в результате: спада светового потока ИС вследствие старения; выхода их из строя в течение срока эксплуатации; загрязнения оптической системы СП; снижения КПД СП в результате старения отражающих материалов; снижение коэффициентов отражения поверхностей помещения из-за их загрязнения. Коэффициент запаса ( $K_3$ ) зависит от содержания пыли и состояния среды в помещениях, частоты чисток

светильников. Коэффициент запаса позволяет обеспечить значение нормируемой освещенности в течение всего времени эксплуатации ОУ. Завышение значения данного коэффициента может привести к увеличению требуемого количества светильников, что приведет к повышению затрат на сооружение ОУ и увеличению расход ЭЭ в процессе эксплуатации. А занижение может привести к тому, что через какое-то время после ввода установки в эксплуатацию освещенность будет ниже нормируемой.

В европейских нормах EN 12464-1 нормируется не коэффициент запаса, а «эксплуатационный коэффициент»-величина, обратная коэффициенту запаса.

Формула для определения коэффициента запаса имеет следующий вид:

$$K_z = K_{z,u} \times K_{z,c}, \quad (2.1)$$

где  $K_{z,u}$  – составляющая, определяемая, прежде всего, воспроизводимостью параметров комплекта «ИС-ПРА», уменьшением светового потока в процессе эксплуатации и при отклонении влияющих на него факторов от номинального значения, вероятностью выхода из строя элементов комплекта «ИС-ПРА»;  $K_{z,c}$  - составляющая, определяемая воспроизводимостью параметров и характеристик осветительных приборов (КПД и КСС), невозстановливаемым уменьшением КПД осветительных приборов и изменением КСС после чисток светильника, вызванных изменением преломляющих свойств материалов оптики светильника.

Если рассмотреть наиболее детально последнюю составляющую, то можем выявить также ряд требований, которые должны быть учтены при выборе коэффициента запаса.

Коэффициент  $K_{z,u}$  можно представить в виде:

$$K_{z,u} = K_{ивос} \times K_{исп} \times K_{ион} \times K_{ивых}, \quad (2.2)$$

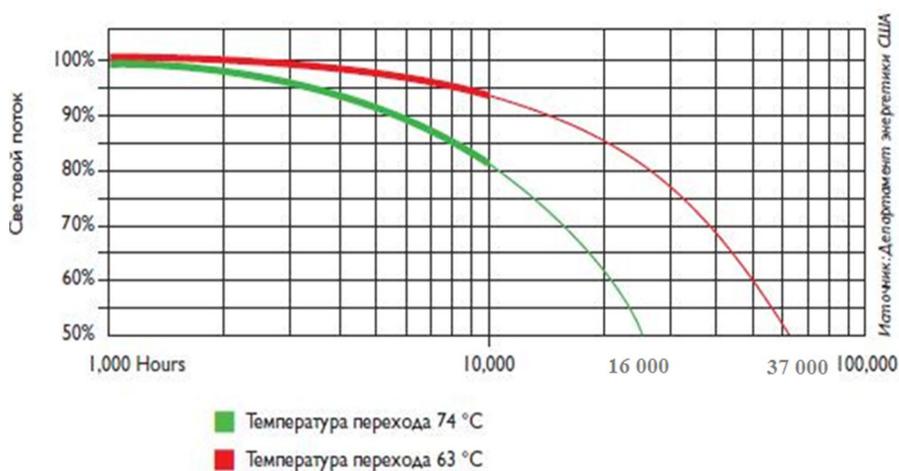
где  $K_{ивос}$  – составляющая, учитывающая воспроизводимостью светового потока комплекта;  $K_{исп}$  – составляющая, учитывающая спад светового потока комплекта в процессе работы ИС;  $K_{ион}$  – составляющая, учитывающая уменьшение светового потока при отклонении влияющих на него параметров

от номинальных значений;  $K_{\text{ИВЫХ}}$  - составляющая, учитывающая выход из строя как самого ИС, так и ПРА к нему.

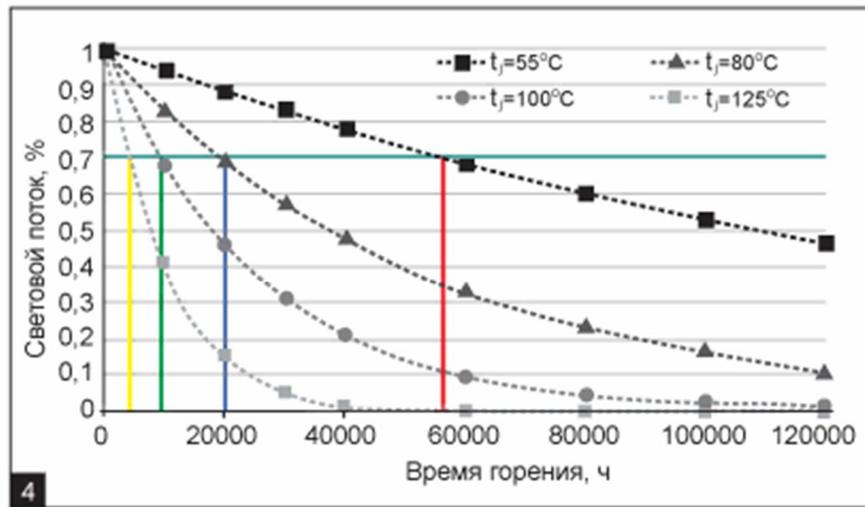
Исходя из особенностей работы драйвера СОП, который обеспечивает воспроизводимость светового потока и стабильность электрических параметров СП, такие составляющие как  $K_{\text{ИВОС}}$  и  $K_{\text{ИОН}}$  могут быть исключены из расчета  $K_3$ .

Срок службы светодиодов и спад светового потока напрямую определяются температурой р-п перехода ( $T_j$ ). Так, при расчете  $K_{\text{ИСП}}$  необходимо учитывать эти характеристики и закладывать их в коэффициент запаса СП.

На рисунке 2.4 показана зависимость светового потока от времени работы светодиода при разных температурах р-п перехода [22,39].



а)



Источник: Seoul Semiconductor

б)

Рис. 2.4 (а,б) – Зависимость спада светового потока от времени работы светодиода при разных температурах p-n перехода

Как видно из этого рисунка, при повышении температуры p-n перехода, оценочное значение полезного срока службы уменьшается, а вместе с тем резко падает световой поток. Данные значения температур, а именно 63 °С, 74 °С и 100 °С, при которых обычно работают СД, станут определяющими в расчете  $K_3$  при различных режимах обслуживания ОУ.

Для расчета коэффициента  $K_{\text{ивых}}$  необходимо провести аппроксимацию и оценить вероятность выхода из строя драйвера в любой момент времени [40]. Под вероятностью безотказной работы изделия  $P$  понимается вероятность того, в течение непрерывной работы  $t$  в изделии не произойдет ни одного отказа. Вероятность безотказной работы характеризует надежность как элемента, так и системы в целом. Допустим, что в момент времени  $t = 0$  объект находился в работоспособном состоянии, а при наработке  $t = t_{om}$  наступил отказ. Это позволяет считать  $t_{om}$  непрерывной случайной величиной, удовлетворяющей неравенству  $t_{om} \leq t$ . Последнее неравенство даёт основание получить функцию  $Q(t)$ , которая называется вероятностью отказа. Зависимость вероятности безотказной работы от  $P(t)$  и вероятности отказа  $Q(t)$  от времени эксплуатации представлена на рисунке 2.5.

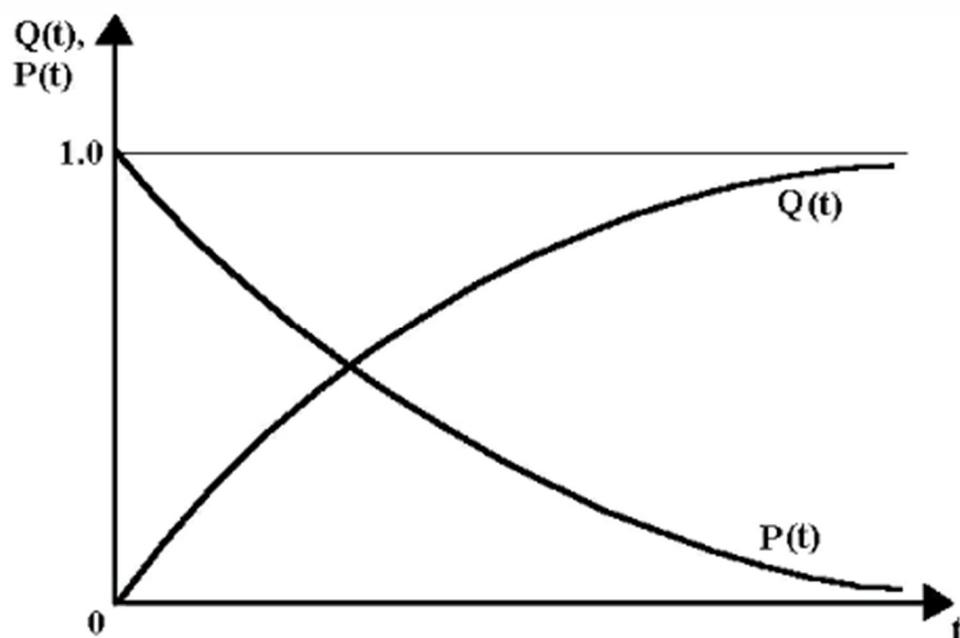


Рис. 2.5 – Зависимость вероятности безотказной работы от времени  $P(t)$  и вероятности отказа  $Q(t)$  от времени эксплуатации

Производитель указывает, что срок службы драйвера для выбранного СОП составляет 60 000 ч непрерывной работы, при условии, что температура не будет превышать  $75^{\circ}\text{C}$  [41], при этом через это время наступит 10 % отказов в работе драйверов. Эти данные позволяют рассчитать вероятность отказа драйверов в любой момент времени работы ОУ. Исходя из этого были определены вероятности выхода для двух режимов обслуживания через 10 000 и 15 000 часов. Данным значениям соответствуют вероятности отказа равные  $Q(t_{10000})=2\%$  и  $Q(t_{15000})=3\%$ . Коэффициент запаса определялся с учетом этих полученных значений, а так же значениями спада светового потока СД при различных температурах р-п перехода.

Поэтому  $K_{3,и}$  будет принимать следующие значения при режимах обслуживания ОУ через 10 000 часов и 15 000 часов.

Таблица 2.3 Значения  $K_{3,и}$  при режимах эксплуатации 10 000 и 15 000 ч

	10 000 ч	15 000 ч
$K_{3,и}(t_j=63^{\circ}\text{C})$	1,08	1,17
$K_{3,и}(t_j=74^{\circ}\text{C})$	1,2	1,39
$K_{3,и}(t_j=100^{\circ}\text{C})$	1,32	1,48

Исходя из типа и особенностей помещений в  $K_{з,с}$  будет вносить вклад загрязнение СП, так как в современных СП отражающие покрытия после чистки восстанавливаются почти полностью [44].

$$K_{з,с} = 1,05$$

Итак, получаем:

Таблица 2.4 Значения  $K_з$  при режимах эксплуатации 10 000 и 15 000 ч

	10 000 ч	15 000 ч
$K_з(t_j=63^{\circ}C)$	1,13	1,23
$K_з(t_j=74^{\circ}C)$	1,26	1,46
$K_з(t_j=100^{\circ}C)$	1,4	1,56

Эти данные были положены в основу светотехнического расчета лекционных аудиторий.

## 2.7 Определение количества светильников в аудитории Н-202

Светильник GALAD Кайро LED:  $\eta(\text{КПД})_{\downarrow} = 0,96$ ,  $\eta_{\uparrow} = 0$

Световой поток ОП: 4400 лм

Размеры помещения: длина  $a=13,8$  м, ширина  $b=11,4$  м, расчетная высота  $h=10,4-0,8=9,6$  м

Индекс помещения:  $i=ab/h(a+b)=0,64$ .

Коэффициент использования осветительной установки:

$$U_{oy} = \eta_{\downarrow} \times \eta_n + \eta_{\uparrow} \times \eta \quad (2.3)$$

Значения  $\eta_n$  определяем по таблице 8.8 [45] по данным коэффициентам отражения потолка, стен и расчетной плоскости соответственно 0,7, 0,5 и 0,3, также по типу КСС используемого СП-Д.

В нашем случае все светильники светят в нижнюю полусферу, следовательно, вторая часть слагаемого равна нулю.

$$\eta_n = 0,52$$

$$U_{oy} = 0,55 \cdot 0,96 = 0,53$$

Расчет числа светильников производим по формуле:

$$N = \frac{E_{cp} \times S \times K_3}{U_{oy} \times n \times \Phi_l}, \quad (2.4)$$

где  $n$ -число ИС

$\Phi_l$  – световой поток ИС

$U_{oy}$  – коэффициент использования ОУ

$S_p$  – площадь расчетной плоскости

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий спад светового потока в процессе эксплуатации

Получаем:

$$N = \frac{400 \times 157,3 \times 1}{0,53 \times 4400} = 25 \text{ шт}$$

## 2.8 Результаты расчета ОУ помещения № 1

Был проведен светотехнический расчет ОУ, когда параметры СП соответствуют номинальным. На рисунке 2.6 представлены результаты расчета при количестве светильников 24 штуки. Такое количество было выбрано исходя из требований к равномерности освещения и уровню минимальной освещенности на рабочих поверхностях и эстетических соображений. Расчеты были проведены в программе Dialux EVO.

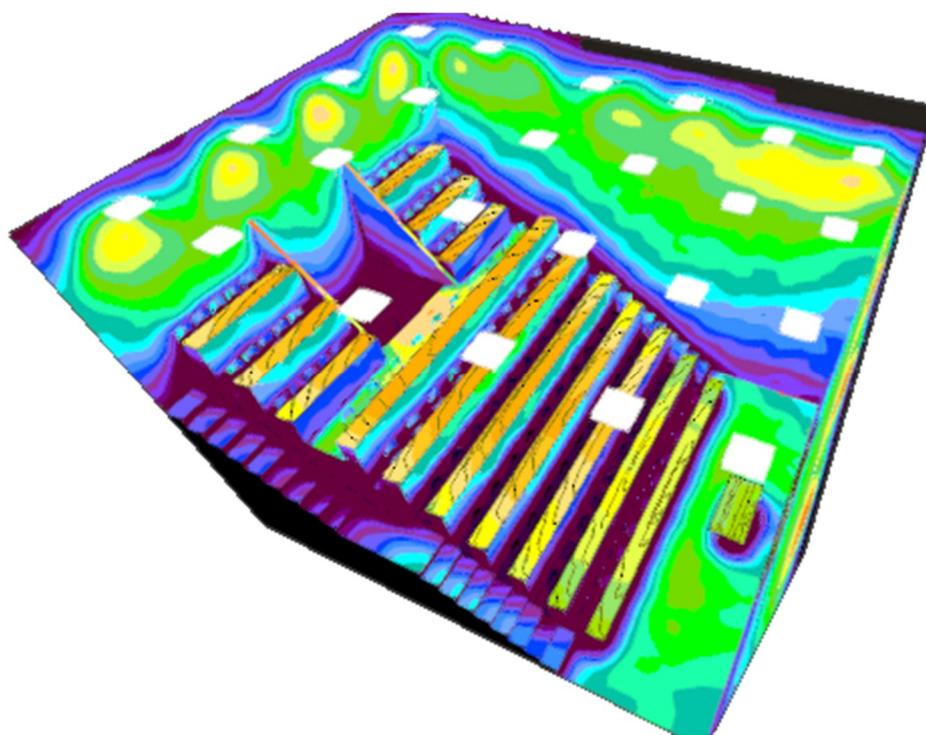


Рис. 2.6 – Расчет освещенности ОУ аудитории Н 202 при номинальных параметрах СП

На рисунках 2.7 и 2.8 показано распределение освещенности спустя 5 000 и 10 000 часов при спаде светового потока, с учетом спада светового потока который соответствует температуре р-п перехода СД 63°C.

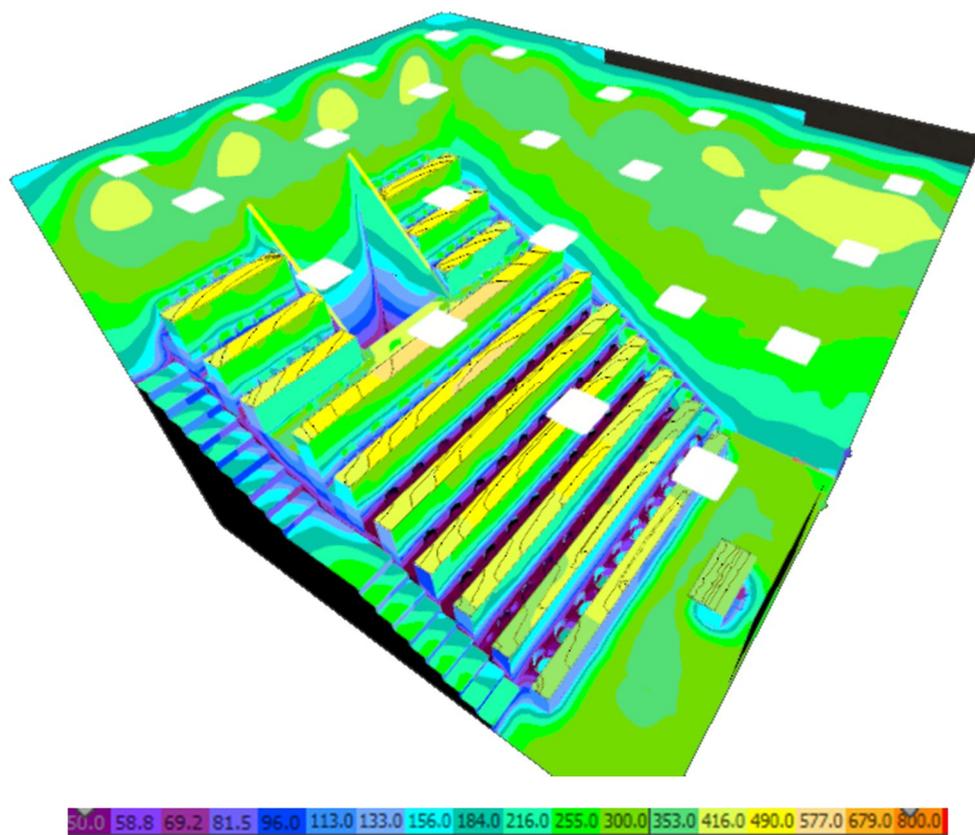


Рис. 2.7 – Расчет освещенности ОУ аудитории Н202 при номинальных параметрах СП после 5 000 ч работы ОУ

Как видно из распределения освещенности, освещенность на рабочих поверхностях стала ниже нормируемой величины (350 лк) на первых рядах и столе преподавателя уже после 5 000 ч работы ОУ.

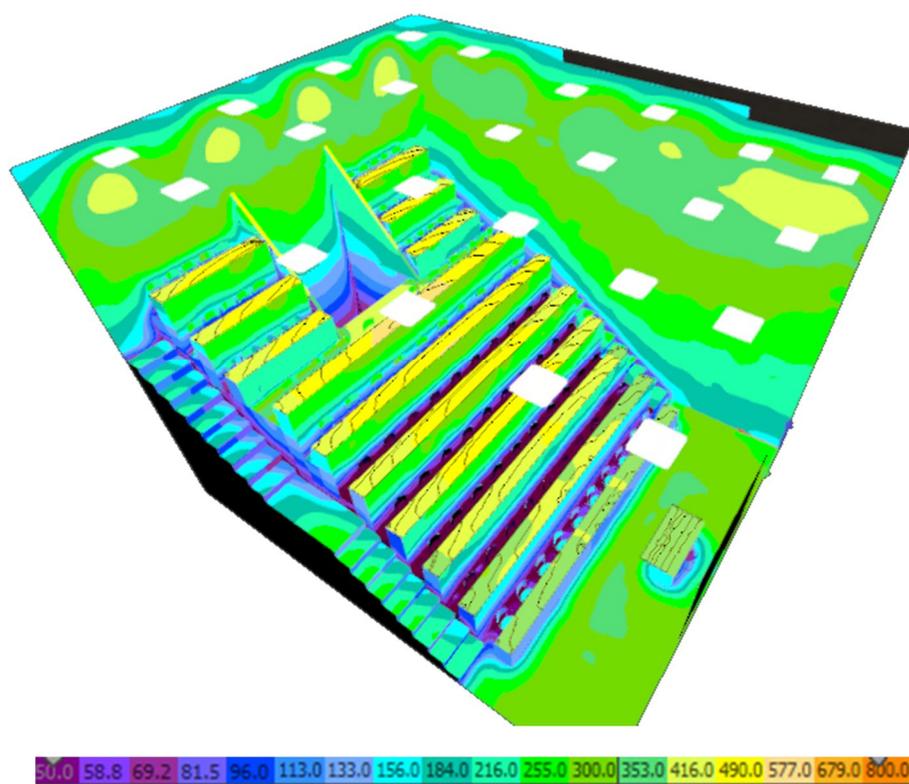


Рис. 2.8 – Расчет освещенности ОУ аудитории Н202 при номинальных параметрах СП после 10 000 ч работы ОУ

После работы ОУ 10 000 ч неравномерность освещенности на рабочих поверхностях становится еще более наглядной. Как видно из рисунка выше, освещенность меняется от 350 до 577 лк. Особенности геометрии данного помещения требуют к себе особого внимания при проектировании ОУ.

Аналогично был проведен расчет, с учетом спада светового потока при температурах р-п перехода 74 °С и 100 °С, который показал наиболее резкое изменение светового потока и как следствие снижение уровня освещенности уже через 5000 ч работы ОУ. Таким образом, можно сделать вывод, что повышение температуры кристалла сказывается на спаде светового потока.

Рассмотрим режимы обслуживания ОУ через 10 000 и 15 000 часов. Проанализируем распределение и уровень освещенности ОУ с учетом спада светового потока, который характерен температуре р-п перехода 63 °С и рассчитанному коэффициенту запаса ( $K_3=1,13$ ). На рисунке 2.9 представлено распределение освещенности через 10 000 и 15 000. Для поддержания

освещенности до нормируемого уровня освещенности в ОУ используется 28 СП.

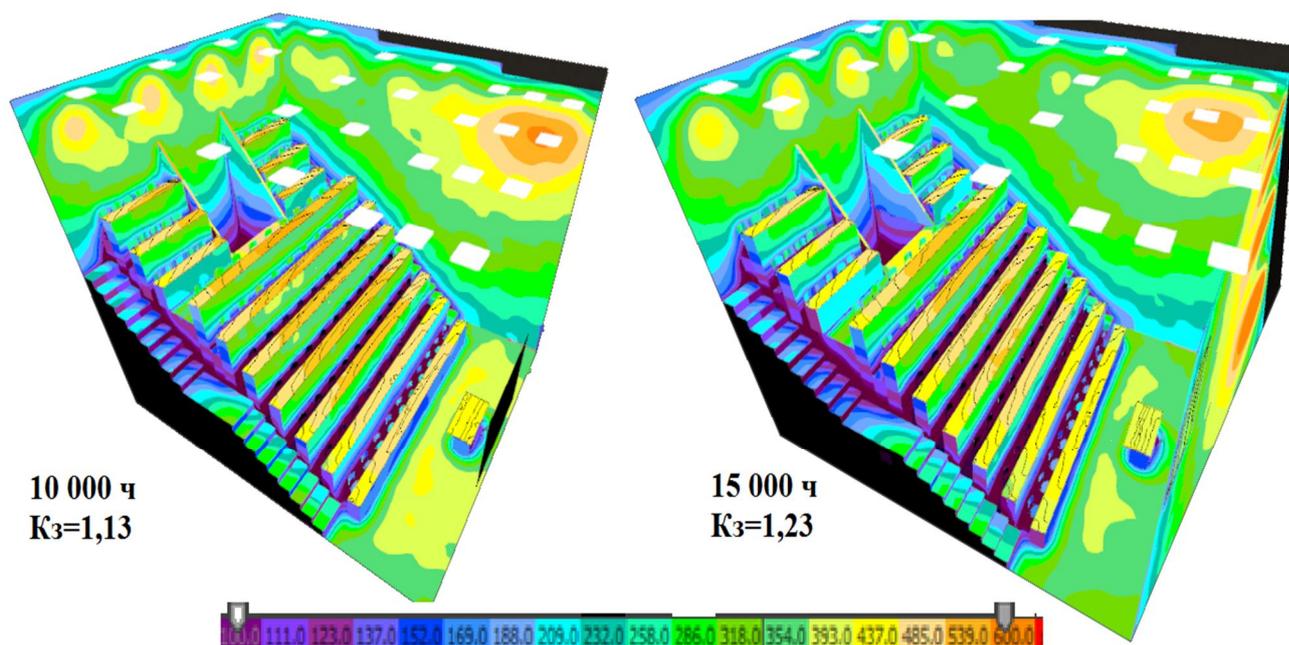


Рис. 2.9 – Расчет освещенности ОУ аудитории Н 202 после 10 000 ч и 15 000 ч работы, при спаде светового потока, соответствующий температуре р-п перехода 63 °С

Из рисунка слева мы видим, что на столах в течение данного времени эксплуатации выполняется минимальная освещенность 400 лк на рабочих поверхностях.

Проведя аналогичный расчет ОУ при режиме обслуживания 15 000 ч. При температуре кристалла  $t_j=63$  °С мы видим, что для поддержания нормируемого уровня освещенности в ОУ возможно использовать также 28 СП. Из рисунка справа мы видим, что на столах в течение данного времени (15 000 ч) эксплуатации выполняется минимальная освещенность 400 лк на рабочих поверхностях. Следовательно можно сделать вывод, что рассчитанная ОУ при 10 000 часов может эксплуатироваться до 15 000 часов при условии того что температура р-п перехода будет неизменной и равна 63 °С. При этом, стоит сказать о том, что поддерживать такую температуру достаточно сложно и как следствие это сказывается на цене изделия.

На рисунке 2.10 представлено распределение освещенности через 10 000 часов при спаде светового потока, характерного для температуры кристалла  $t_j=74\text{ }^\circ\text{C}$ .

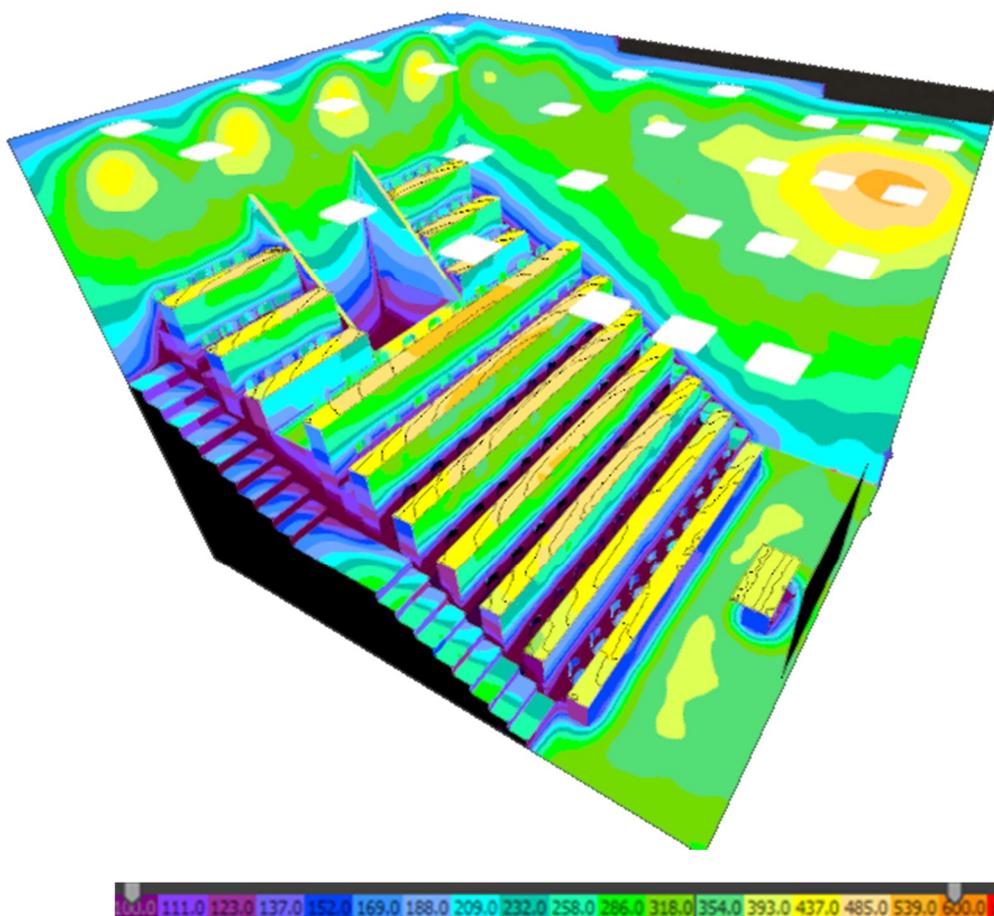


Рис. 2.10 – Расчет освещенности ОУ аудитории Н202 после 10 000 ч работы, при спаде светового потока, характерного для температуры кристалла  $t_j=74\text{ }^\circ\text{C}$

Данный  $K_3$  был рассчитан с учетом спада светового потока при температуре р-п перехода  $74\text{ }^\circ\text{C}$ . Несмотря на то, что расчетным путем было получено 31 СП., при таком режиме обслуживания удовлетворяет меньшее количество приборов. Как видно, при использовании в данном помещении 28 светильников после 10 000 ч их работы обеспечивается минимальное нормируемое значение освещенности на столе преподавателя и краях первых парт. Также следует, что при данном режиме обслуживания 10 000 часов изменение температуры р-п перехода в  $11\text{ }^\circ\text{C}$  не значительно сказывается на поддержании нормируемого уровня освещенности, для такого типа помещения.

На рисунке 2.11 представлено распределение освещенности при спаде светового потока, который соответствует температуре кристалла  $t_j=74$  °С, при обслуживании 15 000 часов.

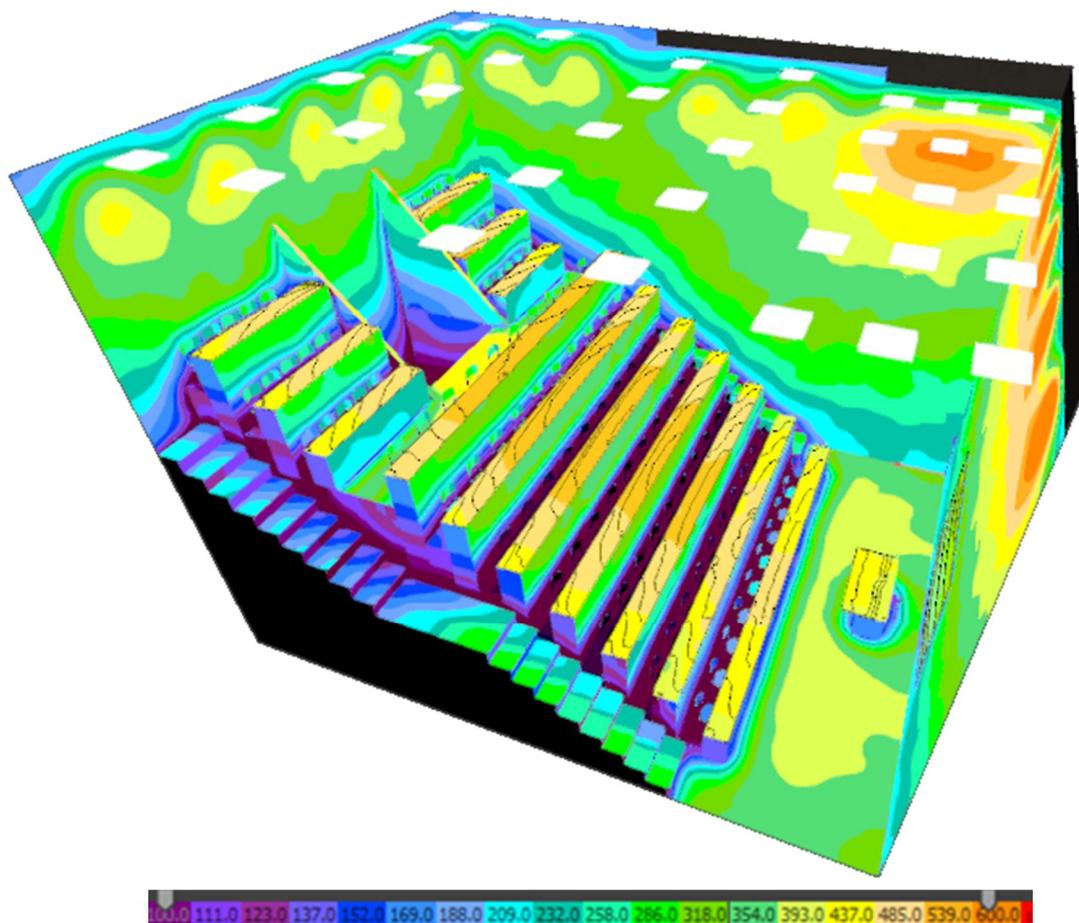


Рис. 2.11 – Расчет освещенности ОУ аудитории Н202 после 15 000 ч работы при спаде светового потока, который соответствует температуре кристалла  $t_j=74$  °С

Расчет был проведен изначально при 28 светильниках и показал, что при спаде светового потока, который соответствует температуре р-п перехода 74 °С, освещенность на рабочих поверхностях становится ниже нормируемой. В первую очередь это сказывается на первых рядах парт и торцевых частях помещения. Поэтому было необходимо увеличить количество СП, которое было получено расчетным путем, и равно 36,5, но исходя из эстетических соображений расположение светильников было выбрано 35 штук.

На рисунке 2.12 представлено распределение освещенности через 10 000 и 15 000 часов при спаде светового потока, который соответствует температуре р-п перехода 100 °С.

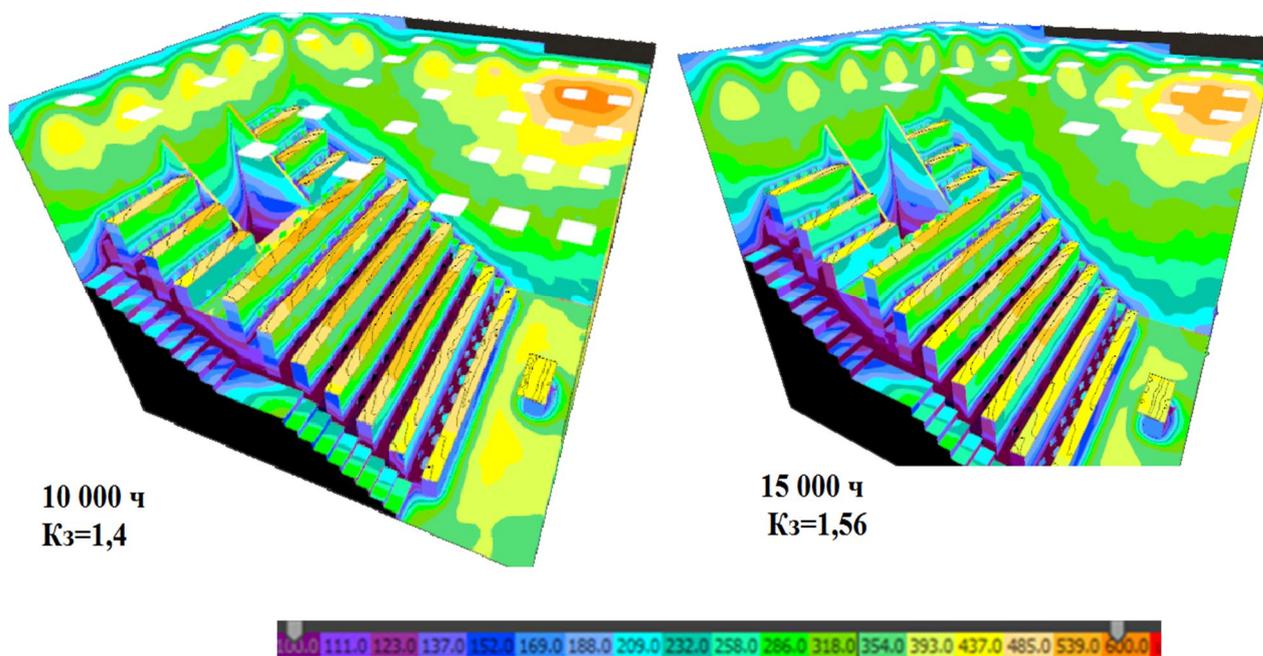


Рис. 2.12 – Расчет освещенности ОУ аудитории Н202 после 10 000 и 15 000 ч работы при спаде светового потока, который соответствует температуре р-п перехода 100 °С

При режиме обслуживания 10 000 ч количество СП – 35 штук было получено расчетным путем и размещены исходя из требований к равномерности освещения и уровню минимальной освещенности на рабочих поверхностях. На рисунке справа представлено распределение освещенности после 15 000 ч работы ОУ.

Видно, что, несмотря на ухудшение количественных характеристик, при режиме обслуживания 15 000 ч (на столе преподавателя и краях первых парт освещенность достигла минимального нормируемого значения 400 лк) освещенность на рабочих поверхностях соответствует нормам при неизменном количестве СП – 35 штук. Несмотря на то, что расчетным путем количество приборов равно 39 штукам, мы его оставим неизменным. Следовательно можно сделать вывод, что рассчитанная ОУ, показанная на рисунке справа, может

эксплуатироваться до 15 000 часов при условии того что температура р-п перехода будет неизменной и равна 100 °С.

Расчетном путем было так же определено, что количество вышедших из строя драйверов случайным образом после 10 000 и 15 000 ч будет равна 1 для каждого варианта расчета ОУ. Если СП выйдет из строя в одном из худших мест, которыми являются торцы помещения и первые парты, то это внесет ухудшения в равномерность освещенности и приведет к ее спаду ниже нормируемого уровня. При групповом обслуживании СП это приводит к негативным вещам, поэтому необходимо это учитывать и увеличивать  $K_3$ .

Сведем в таблицу 2.5 для наглядности количество СП необходимое для каждого режима обслуживания при различных  $K_3$ .

Таблица 2.5 Необходимое количество СП при различных режима обслуживания ОУ

	10 000 часов	15 000 часов
$K_3(t_j=63\text{ °C})$	28 штук	28 штук
$K_3(t_j=74\text{ °C})$	28 штук	35 штук
$K_3(t_j=100\text{ °C})$	35 штук	35 штук

## 2.9 Расчет удельной мощности помещения №1

Удельная мощность ОУ в аудитории Н-202:

$$W = \frac{P \times N}{A} = \frac{40 \times 35}{157,32} = 8,9 \text{ Вт/м}^2, \quad (2.5)$$

где  $P$  - мощность светильника, Вт;  $N$  – число светильников в ОУ;  $A$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>.

Согласно СНиП 23-05-95\* установленная мощность ОУ в выбранном помещении не должна превышать 25 Вт/м<sup>2</sup>.

Более подробный светотехнический расчет каждого из представленного выше режимов обслуживания представлен в приложении А.

## 2.10 Расчет прямого слепящего действия помещения №1

В Стандарте МКО оценка слепящего действия ОУ как промышленных, так и общественных зданий проводится по величине обобщенного показателя дискомфорта UGR (Unified Glare Rating), определяемого по формуле:

$$UGR = 8 \lg \left( \frac{0,25}{L_{ад}} \sum \frac{L^2 \times \omega}{p^2} \right), \quad (2.6)$$

где  $L_{ад}$  — яркость адаптации (фона), кд/м<sup>2</sup>;  $L$  — средняя яркость светящей поверхности светильника по направлению к точке наблюдения, кд/м<sup>2</sup>;  $\omega$  — телесный угол, под которым видна светящая поверхность, стер;  $p$  — индекс позиции по Лекишу— Гуту, учитывающий положение светильника в поле зрения.

Результаты расчета UGR аудитории Н-202 приведен в таблице 2.6. Расположение расчетных точек показано на рисунке 2.13

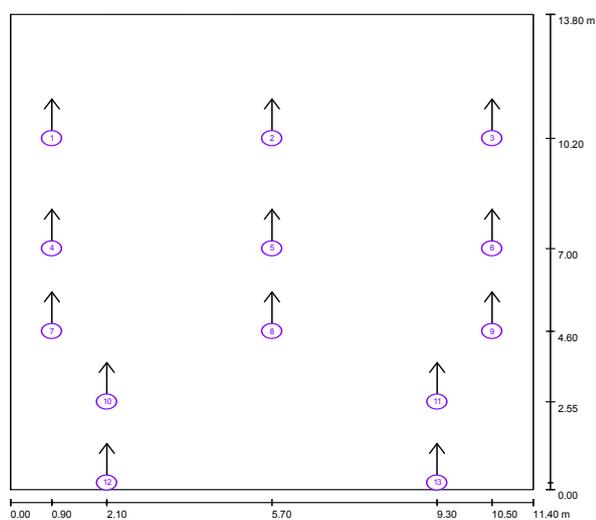


Рис. 2.13 – Расположение расчетных точек.

Таблица 2.6 Результаты расчета UGR для исходной ОУ

№ расчетной точки	Позиция, м			Направление взгляда [°]	Значение UGR
	X	Y	Z		
1	0,9	10,2	1,2	90	<10
2	5,7	10,2	1,2	90	<10
3	10,5	10,2	1,2	90	<10
4	0,9	7	3,6	90	<10

Продолжение таблицы 2.6

5	5,7	7	3,6	90	<10
6	10,5	7	3,6	90	<10
7	0,9	4,6	4,8	90	11
8	5,7	4,6	4,8	90	11
9	10,5	4,6	4,8	90	11
10	2,098	2,55	6,4	90	12
11	9,303	2,55	6,4	90	12
12	2,1	0,2	8,4	90	12
13	9,3	0,2	8,4	90	12

Как видно из таблицы 2. ОУ обеспечивает нормируемое значение показателя дискомфорта, не превышающее 40.

### 2.11 Определение количества светильников в аудитории Б-305

Светильник GALAD Кайро LED:  $\eta(\text{КПД})_{\downarrow} = 0,96$ ,  $\eta_{\uparrow} = 0$

Световой поток ОП : 4400 лм

Размеры помещения: длина  $a=13,5$  м, ширина  $b=7,71$  м, расчетная высота  $h=4,05-0,8=3,25$  м

Индекс помещения:  $i=ab/h(a+b)=1,5$

Коэффициент использования осветительной установки рассчитываются по формуле (2.3).

Значения  $\eta_{\text{п}}$  определяем по таблице 8.8 [45] по данным коэффициентам отражения потолка, стен и расчетной плоскости соответственно 0,5, 0,5 и 0,3, также по типу КСС используемого СП-Д.

В нашем случае все светильники светят в нижнюю полусферу, следовательно, вторая часть слагаемого равна нулю.

$$\eta_{\text{п}} = 0,57$$

$$U_{\text{оу}} = 0,55 \times 0,96 = 0,55$$

Расчет числа светильников производим по формуле (2.4).

Получаем:

$$N = \frac{400 \times 104 \times 1}{0,55 \times 4400} = 19,42$$

## 2.12 Результаты расчета ОУ помещения № 2

Аналогично аудитории Н-202 был произведен расчет ОУ для лекционной аудитории Б-305. ОУ в начальный момент времени будет иметь следующий вид:

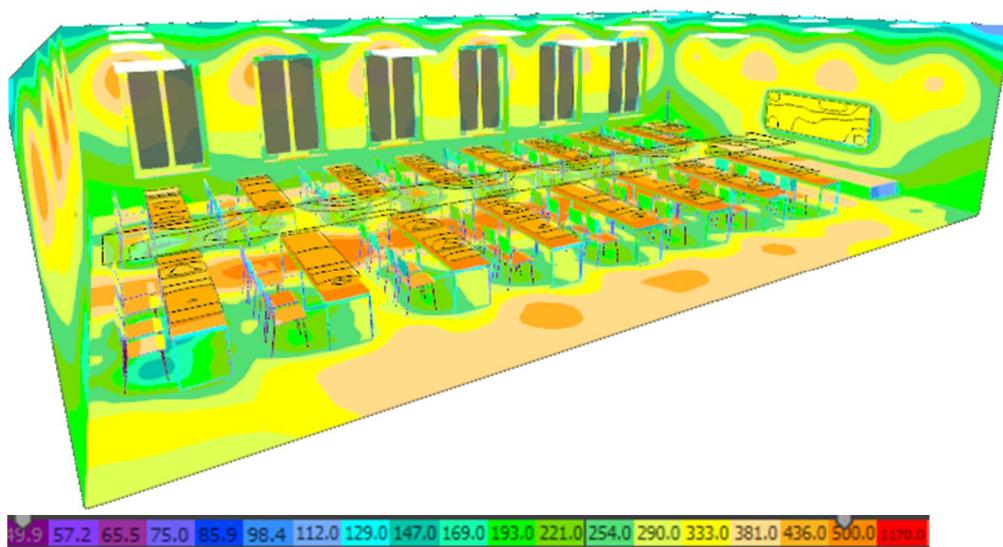


Рис. 2.13 – Расчет освещенности ОУ аудитории Б-305 при номинальных параметрах СП

Количество СП (24 шт) было выбрано исходя из требований к равномерности освещения и уровню минимальной освещенности на рабочих поверхностях. На рисунке 2.14 показан расчет освещенности после 5000 ч и 10 000 ч при спаде светового потока, который наблюдается при температуре р-п перехода 63 °С.

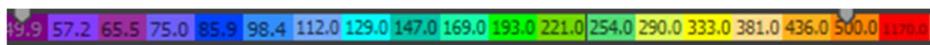
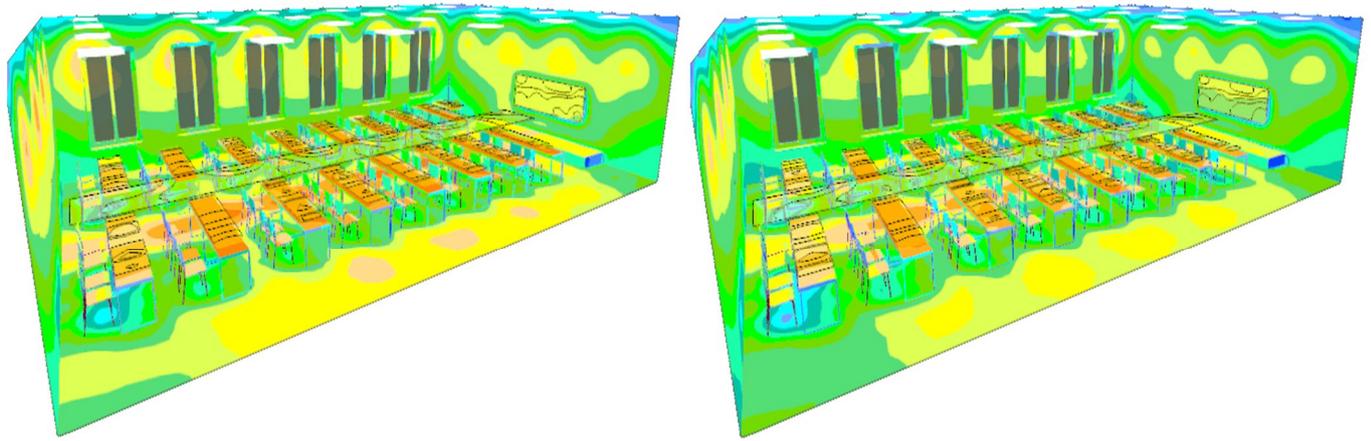


Рис. 2.14 – Расчет освещенности ОУ аудитории Б-305 при номинальных параметрах через 5000 ч (слева) и 10 000 ч (справа) работы ОУ

Из рисунка видно, что освещенность со временем ухудшается на последних партах, но при этом освещенность на других столах остается выше нормируемого значения.

Расчет освещенности ОУ при выбранных ранее режимах обслуживания и  $K_3$  рассмотрены ниже.

На рисунке 2.15 представлено распределение освещенности при спаде светового потока, который соответствует температуре кристалла  $t_j=63$  °С. При режимах обслуживания 10 000 и 15 000 ч.

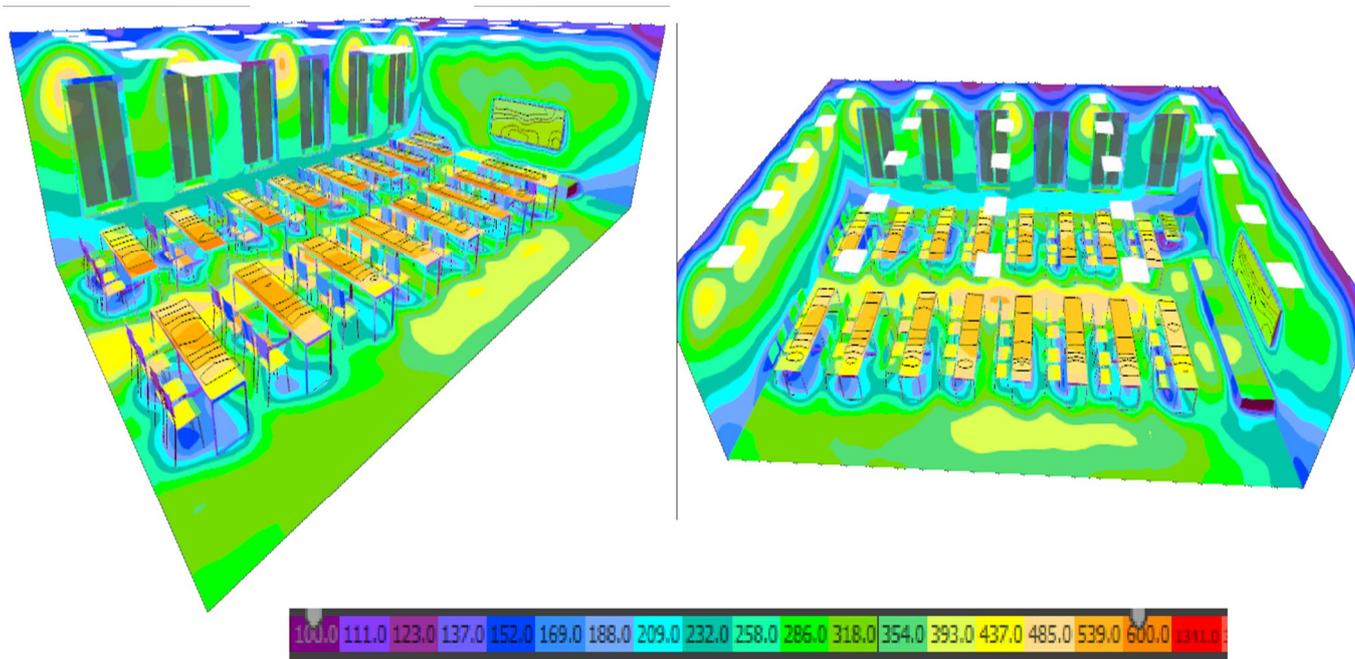


Рис. 2.15 – Распределение освещенности при спаде светового потока, который соответствует температуре кристалла  $t_j=63^\circ\text{C}$ , режимах обслуживания 10 000 (слева) и 15 000 часов (справа)

Расчетным путем было определено количество СП, при соответствующих режимах обслуживания, и округленно до 25 штук для обеспечения равномерности СП из эстетических соображений. Результат расчета обеих ОУ показал, что нормируемые уровни освещенности выполняются на рабочих поверхностях.

На рисунке 2.16 представлено распределение освещенности при спаде светового потока, который соответствует температуре р-п перехода  $t_j=74^\circ\text{C}$  и режиме обслуживания ОУ через 10 000 часов.

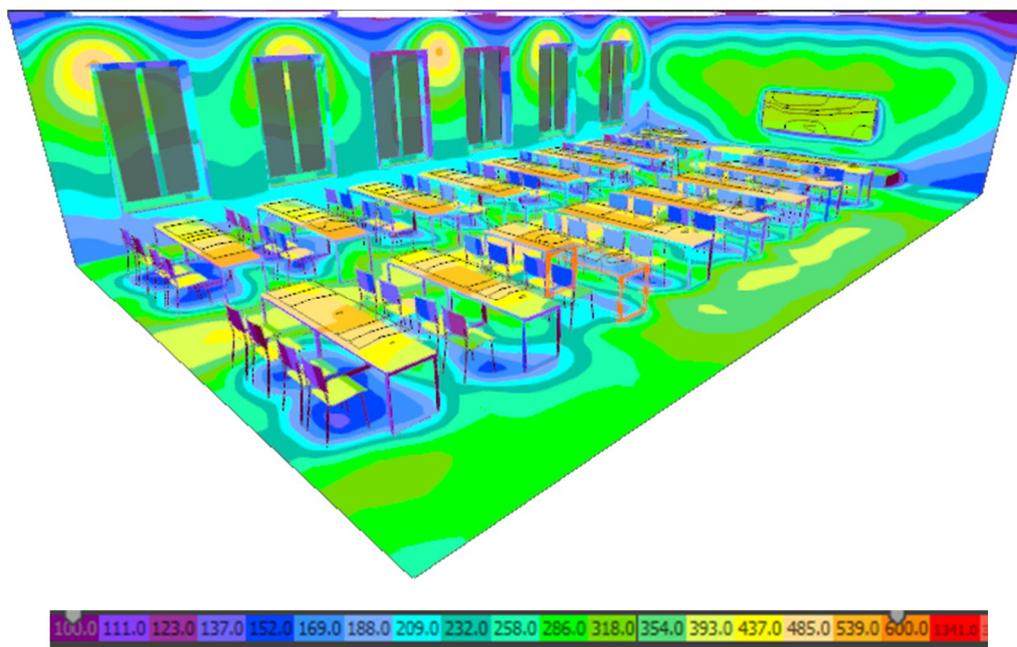


Рис. 2.16 – Распределение освещенности при спаде светового потока, который соответствует температуре р-п перехода  $t_j=74\text{ }^\circ\text{C}$  и режиме обслуживания 10 000 часов

Расчет ОУ производился при неизменном количестве СП и как на рисунке ранее - 25 штук, при спаде светового потока соответствующего температуре р-п перехода  $74\text{ }^\circ\text{C}$ . Так же при этом режиме обслуживания появилась точка, где освещенность приняла значение ниже нормируемой – 380 лк. Это последняя парта, расположенная у окна. При этом избыточная освещенность сохраняется в центре помещения. В целом, ухудшается освещенности на поверхности всех парт расположенных у окон. Связано это с коэффициентом отражения оконных проемов и вкладом прямой составляющей освещенности на рабочие поверхности. Для повышения вклада уровня освещенности на рабочих поверхностях необходимо использовать жалюзи на окнах с диффузным отражением.

На рисунке 2.17 представлено распределение освещенности при спаде светового потока, который соответствует температуре кристалла  $74\text{ }^\circ\text{C}$  и режиме обслуживания ОУ через 15 000 часов.

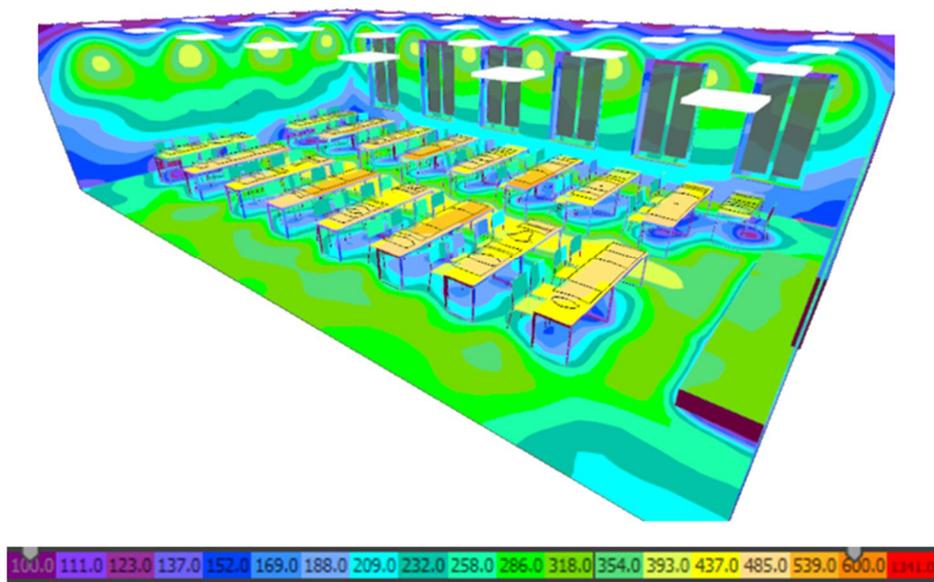


Рис. 2.17 – Распределение освещенности при спаде светового потока, который соответствует температуре р-п перехода  $t_j=74\text{ }^\circ\text{C}$  и режиме обслуживания через 15 000 часов

Светотехнический расчет ОУ через 15 000 часов работы при спаде светового потока, которому соответствует температуре р-п перехода  $74\text{ }^\circ\text{C}$ , показал, что при использовании 25 СП освещенность стала ниже нормы. Расчетным путем было определено и повышено количество светильников до 28 штук.

На рисунке 2.18 представлено распределение освещенности при спаде светового потока, который соответствует температуре р-п перехода  $t_j=100\text{ }^\circ\text{C}$  и режиме обслуживания ОУ через 10 000 часов.

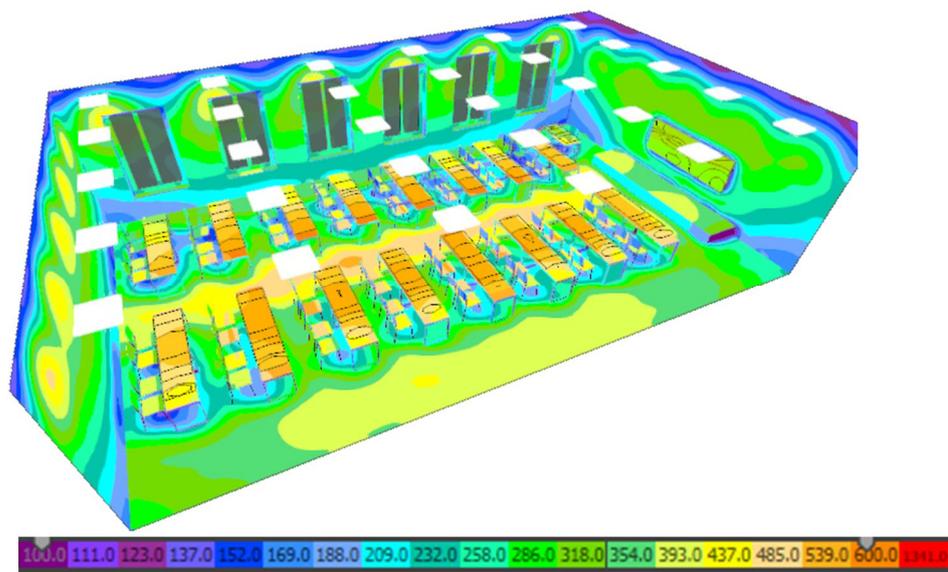


Рис. 2.18 – Распределение освещенности при спаде светового потока, который соответствует температуре р-п перехода  $t_j=100\text{ }^\circ\text{C}$  и режиме обслуживания 10 000 часов

Для достижения нормируемого уровня освещенности было использовано 30 СП. Анализируя ОУ прошлые и данную, видно, как может сказаться температура р-пперехода на выборе  $K_3$  и в дальнейшем на количество светильников.

На рисунке 2.19 представлено распределение освещенности при спаде светового потока, соответствующий температуре кристалла  $t_j=100\text{ }^\circ\text{C}$  и режиме обслуживания через 15 000 часов.

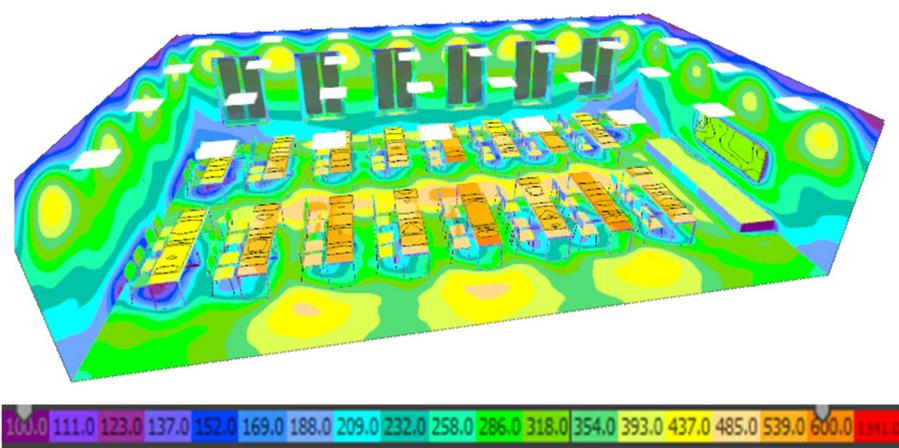


Рис. 2.19 – Распределение освещенности при спаде светового потока, который соответствует температуре р-ппереходи  $t_j=100\text{ }^\circ\text{C}$  и режиме обслуживания ОУ через 15 000 часов

При данном режиме обслуживания в ОУ используется 32 СП. С точки зрения эффективности, я считаю, это несообразно, так как в начальный момент времени работы ОУ приведет к большому пересвету на рабочих поверхностях, как следствие и к лишним затратам на ЭЭ.

Расчетным путем было так же определено, что количество вышедших из строя драйверов случайным образом после 10 000 ч и 15 000 ч будет равно 1 для каждого варианта расчета ОУ. Если СП выйдет из строя в одном из худших мест, которыми являются торцы помещения, то это внесет ухудшения в равномерность освещенности и приведет к ее спаду ниже нормируемого уровня. При групповом обслуживании СП это приводит к негативным вещам, поэтому необходимо это учитывать и увеличивать  $K_3$ .

Сведем в таблицу 2.7 для наглядности количество СП требуемое для каждого режима обслуживания при различных  $K_3$ .

Таблица 2.7 Необходимое количество СП при различных режима обслуживания ОУ.

	10 000 часов	15 000 часов
$K_3(t_j=63\text{ }^\circ\text{C})$	25штук	25 штук
$K_3(t_j=74\text{ }^\circ\text{C})$	25 штук	28 штук
$K_3(t_j=100\text{ }^\circ\text{C})$	30 штук	32 штук

### 2.13 Расчет удельной мощности помещений помещения №2

Удельная мощность ОУ в аудитории:

$$W = \frac{P \times N}{A} = \frac{40 \times 25}{104,5} = 9,6 \text{ Вт/м}^2, \quad (2.7)$$

где  $P$  - мощность светильника, Вт;  $N$  – число светильников в ОУ;  $A$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>.

Согласно СНиП 23-05-95\* установленная мощность ОУ в выбранных помещениях не должна превышать 30 Вт/м<sup>2</sup>.

Более подробный светотехнический расчет представлен в приложении Б.

## 2.14 Расчет прямого слепящего действия помещения №2

Аналогично аудитории Н-202 был произведен расчет показателя UGR для аудитории Б-305. Результаты приведены в таблице 2.8. Расположение расчетной точки показано на рисунке 2.20.



Рис. 2.20 – Расположение расчетной точки

Таблица 2.8 Результаты расчета UGR для исходной ОУ

№ расчетной точки	Позиция, м			Направление взгляда [°]	Значение UGR
	X	Y	Z		
1	16	4,8	1,2	90	<10

Как видно из таблиц 2.6 ОУ обеспечивает нормируемое значение показателя дискомфорта, не превышающее 40.

## 2.15 Разработка эффективных вариантов ОУ с применением СУО

Фирмы изготовители такие как Osram, Philips, Tridonic, Helvar и другие, предлагают множество СУО для осветительных установок с люминесцентными лампами и СОП. В системах с аналоговым управлением команды ручного

управления или сигналы от датчиков освещённости, присутствия и времени подаются на управляющие входы ЭПРА или драйвера в виде постоянного напряжения (в диапазоне 0-10 В), вызывая соответствующее изменение светового потока управляемых ламп. Ручное управление, как правило, осуществляется дистанционно с помощью пультов с инфракрасными излучателями или с помощью потенциометров, устанавливаемых рядом с выключателями. Данный протокол управления предусматривает подключение следующих устройств:

- датчиков, поддерживающих постоянный уровень освещённости;
- датчиков движения;
- потенциометров, дающих возможность ручного регулирования яркости ИС;
- устройства отключения через заданный промежуток времени после включения;
- пульта дистанционного управления.

Но при всем многообразии элементов, способствующих экономии ЭЭ, аналоговый интерфейс имеет множество недостатков:

- при включении в цепь нескольких датчиков, каждый фотоэлемент управляет освещением в отдельной зоне, при этом их работа не согласована между собой;
- отсутствует возможность повременного включения и отключения;
- возможность программирования не более 4 сцен освещения;
- невозможность выключить 1-10 В модули посредством интерфейса.

В отличие от аналоговых систем, цифровое управление по стандарту DALI (Digital Addressable Lighting Interface) позволяет осуществлять программирование освещения в помещении и осуществлять адресное управление светильниками. Система цифрового управления освещением по стандарту DALI также требует прокладки дополнительной двухпроводной управляющей сети. Использование СУО с датчиками освещённости,

присутствия и времени позволяет экономить до 70% (по данным фирмы Osram – даже до 80%) электроэнергии, расходуемой на освещение.

Преимущества цифровых интерфейсов относительно аналоговой системы 1-10 В [42]:

- простая прокладка линий управления (не надо формировать группы, не имеет значения полярность);
- возможность управления индивидуальными балластами (адресация индивидуального балласта) или группы балластов (адресация группы балластов);
- автоматическое и одновременное управление всех балластов, выбранных в группу;
- допустимые значения яркости ламп могут быть сохранены, как значение по умолчанию (с целью сбережения электроэнергии, могут быть установлены максимальные значения освещенности);
- отсутствует необходимость коммутировать силовое напряжение с помощью внешнего реле (это сделано внутренними электронными компонентами).

Стандарт DALI является «открытой системой», умеренной по стоимости, что позволяет любому производителю приборов связывать диммируемые аппараты, выключатели и датчики для объединения в локальную систему освещения. Каждая сеть DALI может состоять из 64 одиночных балластов, подключенных к одному блоку управления (контроллеру). Контроллер DALI или шлюз DALI может подключаться к другим инженерным устройствам здания, благодаря системе стандартизации такого рода оборудования. При оснащении здания системами и оборудованием от разных производителей важно, чтобы технические устройства не «конфликтовали» между собой, а были бы совместимы и представляли единое целое. Проблема совместимости была решена через разработку так называемых «стандартов открытых систем».

Возможность обмена данными обеспечивает сетевую совместимость систем и возможность интеграции систем в единый комплекс.

Ассортимент АСУО на сегодняшний день обширен, как с точки зрения областей применения (офисы, общественные здания, промышленность, жилой сектор и т.д.), так и по масштабу самих систем. Рассмотрим более подробно АСУО, предназначенные для использования в административных помещениях. В таблице 2.9 приведены основные характеристики АСУО некоторых ведущих производителей.

Таблица 2.9 Характеристики современных СУО

Система управления, производитель	Управляющий интерфейс	Тип и кол-во датчиков, поддерживаемых 1 контроллером	Макс. кол-во управляемых СП	Кол-во управляемых групп ОП	Макс. Кол-во управляемых контроллеров	Возможности интеграции в другие системы	Доп. способы управления	Заявленная экономия электроэнергии, %
ActiLume, Philips	DALI	1 мультидатчик + 2 доп. ДП	9	2	7	-	10 сцен освещения	до 75
OccuPlus, Philips	DALI	Мультидатчик совмещенный с контроллером + 1 доп. ДП	15	4	Параллельно до 10 (basic), до 22 (advanced), до 64 (BMS)	интеграция в большинство BMS через DALI	9 сцен освещения + 1 пользовательский сценарий	до 75
TRIOS, Philips	1-10 В	ФД (1 шт.), ДП (3 шт.)	150 (до 1150 Вт на фазу)	1	1)до 5 контроллеров к 1 датчику 2) до 25 slave к 1 master	-	4 сцены освещения	до 70
DALI Advanced, Osram	DALI + радиоканал	ФД (3 шт.), ДП (6 шт.)	64	16	1	Через EIB, LON, Ethernet, поддерживает 1-10 В	15 сцен освещения	

Продолжение таблицы 2.9

Система управления, производитель	Управляющий интерфейс	Тип и кол-во датчиков, поддерживаемых контроллером	Макс. кол-во управляемых СП	Кол-во управляемых групп ОП	Макс. Кол-во управляемых контроллеров	Возможности интеграции в другие системы	Доп. способы управления	Заявленная экономия электроэнергии, %
Multi 3, Osram	DALI, 1-10 В	Мультидатчик (4 шт.)	15 (DALI) 30 (1-10 В)	4	1	Через EIB, LON	16 сцен освещения (DALI), 4 сцены (1-10 В)	до 70
RadioTouch, Lutron Electronics	Радиока-нал	ФД (1 шт.) ДП (1 шт.)	16	1	10	Через RS232	12 сцен освещения	60
MultiDIM, Helvar	DALI	Мультидатчик (до 63)	63	16	16	Через EIB, Lon, Ethernet, поддерживает 1-10 В	16 сцен освещения	до 70
Mosaic, Legrand	1-10 В	ФД (1 шт.), ДП (1 шт.)	До 1000 Вт на группу, до 2200 Вт на контроллер	3	1	Через Insta-bus, Ethernet	4 сцены освещения	до 70

В настоящее время многие производители выпускают не готовые АСУО, а «самонаборные» варианты, состоящие из отдельных элементов (контроллеров, панелей управления, диммеров, датчиков и т.д), предлагая пользователю самостоятельно собирать необходимую систему наподобие конструктора. Зачастую, такие варианты отличаются от готовых систем большей гибкостью и универсальностью, так отдельные элементы, как правило, поддерживают многие управляющие интерфейсы. Остановимся более подробно на механизме использования естественного освещения, как факторе, определяющим наибольший вклад в экономию ЭЭ. Кроме того, действие этого фактора, в отличие, например, от учета присутствия людей можно спрогнозировать.

Фотодатчик обычно устанавливаемый на потолке, «измеряет освещенность» на рабочей поверхности, которая складывается из освещенности от естественного света и освещенности, создаваемой ОУ помещения. В условиях изменчивости естественного света суммарная освещенность на рабочей поверхности может превысить необходимый, заранее устанавливаемый уровень, в этом случае АСУО снижает поток ОУ по одному из ранее перечисленных алгоритмов до тех пор, пока освещенность не достигнет установленного уровня.

В случае, когда суммарная освещенность значительно (точное значение может задаваться пользователем) превышает установленный уровень, ОП в помещении могут быть полностью отключены. В целях еще большего снижения энергопотребления ОУ, работа фотодатчика обычно координируется с работой датчика присутствия.

Из рассмотренных систем наиболее оптимальна и проста система Trios для аудитории Б-305.

Trios - многофункциональная, автоматическая система управления освещения, которая удовлетворяет сегодняшним запросам энергоэффективности, гибкая и легкая в использовании для освещения. Когда датчик освещенности объединен с остальными датчиками Philips, потенциометром или стандартные выключатели кнопки, Trios становятся универсальной системой управления для внутреннего освещения.

Возможности данной системы заключаются в следующем:

- ручной контроль. Инфракрасное Дистанционное управление.
- обычный легкий контроль. Выключатель вкл\выкл и диммер.
- многофункциональный контроль. Переключение сцен освещения и
- диммирование при помощи панели управления с переключателями, связанного с системой управления через интерфейс.
- ручной контроль с экономией энергии. Датчик движения с инфракрасным дистанционным управлением.
- датчик освещенности, объединенный с инфракрасным дистанционным управлением. Освещение автоматически регулируется, чтобы поддерживать постоянный уровень освещенности.
- датчик освещенности и датчик движения с дистанционным управлением IR.

Освещение автоматически регулируется, чтобы поддерживать постоянный уровень освещенности. Датчики движения реагируют на присутствие людей.

- автоматическое управление с экономией энергии. Полностью автоматизированное управление с использованием датчиков освещения и присутствия.

Использование в лекционной аудитории датчика освещенности поможет сэкономить ЭЭ. Зачастую ЭЭ в этом помещении расходуется неэффективно - включив свет утром, когда недостаточно естественного света (или при полном его отсутствии зимой) ОУ может продолжать гореть на протяжении всего дня. Студенты и преподаватели не обращают внимания на то, что свет в аудитории может расходоваться бессмысленно. Включив утром ОУ при недостатке ЕО, она может продолжить гореть весь день. Датчик освещенности поможет управлять количеством света для поддержки нормируемого уровня освещенности, а так же отключит ОУ при достаточном количестве естественного света во всем помещении.

Система позволяет создавать различные сцены освещения и автоматически их изменять путем программирования через компьютер. Так, при отсутствии естественного света есть необходимость запрограммировать систему таким образом, чтобы в середине помещения на партах где имеется пересвет, освещенность была уменьшена до оптимального значения. За счет этого будет также происходить экономия ЭЭ. В таблице 2.10 представлены конкретные настройки для применения системы Trios.

Настройки АСУО, предлагаемые пользователям, для оптимизации учета естественного освещения.

Таблица 2.10 Настройки для применения системы Trios

Система управления, производитель	Реализуемые алгоритмы управления	Поддерживаемый уровень освещенности, лк	Уровень отключения	Время задержки до отключения ОП при достижении уровня отключения	Время реакции системы на изменение освещенности,
TRIOS, Phi-lips	Одновременное; с фикс. разностью потоков	250 - 1200	120-250%	5-30 мин.	5-30 мин.

В аудитории Н-202 нет необходимости использовать датчик освещенности для контроля естественного света, но для поддержания нормируемого уровня освещенности есть. Датчик присутствия также поможет человеку, заходя в помещение, не пытаться ориентироваться в нем без света и адаптироваться к темноте. Для данного помещения будет использоваться СУО Multidim.

MultiDim - очень разносторонняя система, которая позволяет реализовать разнообразные сцены освещения. Система состоит из управляющих устройств, которые могут объединяться различными способами, чтобы точно обеспечивать необходимое функциональное назначение. Система может управлять как всеми компонентами сразу, так и отдельными, что очень удобно в новых проектах освещения. Сцены освещения могут создаваться и изменяться через

пользовательские функции: выключатель, ИК пульт, ползунки и вращающиеся диммеры (рисунок 2.21).

Возможности системы:

- Благодаря цифровому управлению DALI обеспечивается индивидуальный контроль светильников.
- Широкое разнообразие пользовательских интерфейсов: ползунки, ротационные кнопки, кнопки или инфракрасное дистанционное управление.
- Каждый пульт управления оснащен инфракрасным приемником.
- Мультидатчик (датчик присутствия и освещенности).
- Простое управление и изменение конфигураций посредством программного обеспечения системы.

Оборудование:

- DCMD126. Управляющий модуль кнопки MultiDim 8, обеспечивающий сцены освещения и кнопка + ИК получатель.
- DCMD302. Мультисенсор с ИК приемником, включающий в себя датчик освещенности, который измеряет отраженный свет, и датчик движения.
- DCMD303. Дистанционный ИК пульт, который обеспечивает основные функции, такие как вкл/выкл, вверх/вниз и выбор сцен освещения (4 кнопки).



Рис. 2.21 – Комплектующие системы управления MultiDim

Управлять СП в таком помещении будет удобно с помощью пульта преподавателю, находясь за столом у доски. Для показа презентаций можно создать отдельную сцену освещения так, чтобы текст и картинки были со слайдов при демонстрации читаемы из любой точки зала.

Экономия ЭЭ в помещениях без естественного света требует к себе большего внимания. Здесь не получится добиться ее за счет естественного света. Как правило, в таких залах ОУ работает в течение всего дня и на полную мощность.

Помимо экономии ЭЭ не маловажным для СУО является требования надежности и разумных сроков окупаемости ОУ, то есть на выбор того или иного типа СУО влияют начальные капиталовложения, стоимость электроэнергии и эксплуатационные расходы. Соответственно чем выше стоимость ЭЭ и ниже другие расходы, тем быстрее окупится установка с СУО. Если в ОУ СУО выполняет все четыре основные функции, то срок окупаемости будет зависеть от площади помещения, освещаемой естественным светом. Соответственно чем она больше, тем быстрее.

## 2.16 Выводы по главе

Проектировщик использует  $K_3$ , не учитывая всех особенностей необходимых для его вычисления, что приводит к неверному расчету ОУ с точки зрения качества освещения и эффективности.  $K_3$  должен выбираться индивидуально исходя из характеристик СД, особенностей помещения и режима обслуживания ОУ.

Из таблиц 2.5 и 2.7 мы видим, что спад светового потока, который зависит от температура кристалла вносит существенный вклад в выбор количества СП, которое необходимо установить, что в свою очередь может сделать ОУ неэффективной даже при использовании современных технических средств.

Применение СУО является решением экономии ЭЭ, расходуемой на нужды освещения. Возникает необходимость проведения технико-экономического расчета, для обоснования эффективности использования различных технических решений в ОУ.

### 3 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для расчёта мощности потребляемой ОУ, при использовании систем освещения, необходимо знать, как изменяется световой поток при его управлении. Были проведены измерения мощности как функции светового потока в учебно-исследовательском комплексе «ВНИСИ» светильника GALAD Кайро LED. Эта зависимость показывает, что непропорционально меняется мощность ОУ при изменении светового потока. Это необходимо иметь в виду при димировании светильника и при расчете ОУ. На рисунке 3.1 показан график, значения которого были положены в основу расчета экономической части.

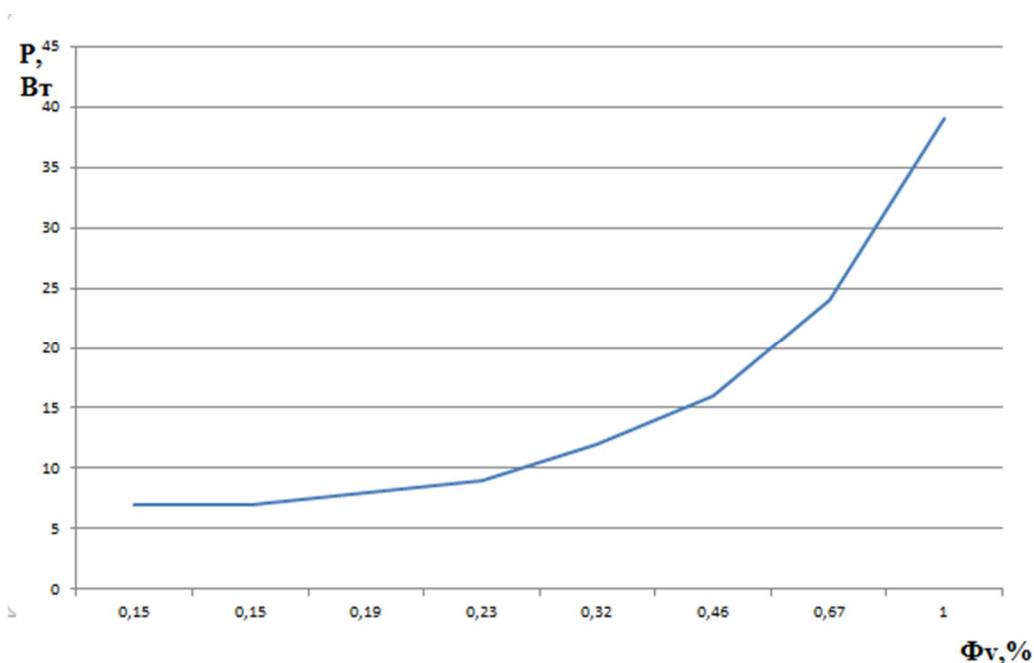


Рис. 3.1 – Зависимость мощности светильника от светового потока при его регулировании

В данной работе рассматриваются возможные способы снижения мощности ОУ, поэтому для оценки её экономической эффективности необходимо рассчитать эксплуатационные затраты на электрическую энергию. Из литературного обзора видно, что наиболее эффективными являются ОУ с использованием систем управления освещением. Такие ОУ, как правило, требуют больших капитальных затрат, поэтому рассмотрим также сроки окупаемости ОУ.

Рассмотрим аудиторию №1 Н-202.

В таблице 3.1 представлена стоимость ОУ.

Таблица 3.1 Стоимость оборудования ОУ

Наименование оборудования	Стоимость за шт, руб.	Кол-во, шт	Итоговая стоимость, руб
Светильник GALAD Кайро 600 LED-40/П/КЛ/5000	4 383	28	109 575
		35	153 405
DCMD450. Цифровой управляющий контроллер.	6720	1	6720
DCMD126. Управляющий модуль кнопки MultiDim 8, обеспечивающий сцены освещения и кнопка + ИК получатель	9 365	1	9 365
DCMD302. Мультисенсор с ИК приемником	4 350	2	8 700
DCMD303. Дистанционный ИК пульт	800	1	800
Общая стоимость оборудования			<b>135 160</b>
			<b>178 990</b>

### 3.1 Расчет основных технико-экономических показателей

Расчет основных технико-экономических показателей производился в программе Fagerhult Life Cycle Cost Calculator 2.2.0.2. Она позволяет рассчитать первоначальные затраты на осветительную установку, количество потребляемой электроэнергии, затраты на электроэнергию, затраты на источники света, затраты на обслуживание, срок окупаемости, возможную прибыль от установки более эффективного оборудования и количество выброса CO<sub>2</sub>. При этом в программе учитывается множество параметров и такие важные, как например, инфляция и увеличение стоимости электроэнергии. Интерфейс программы представлен на рисунке. 3.2.

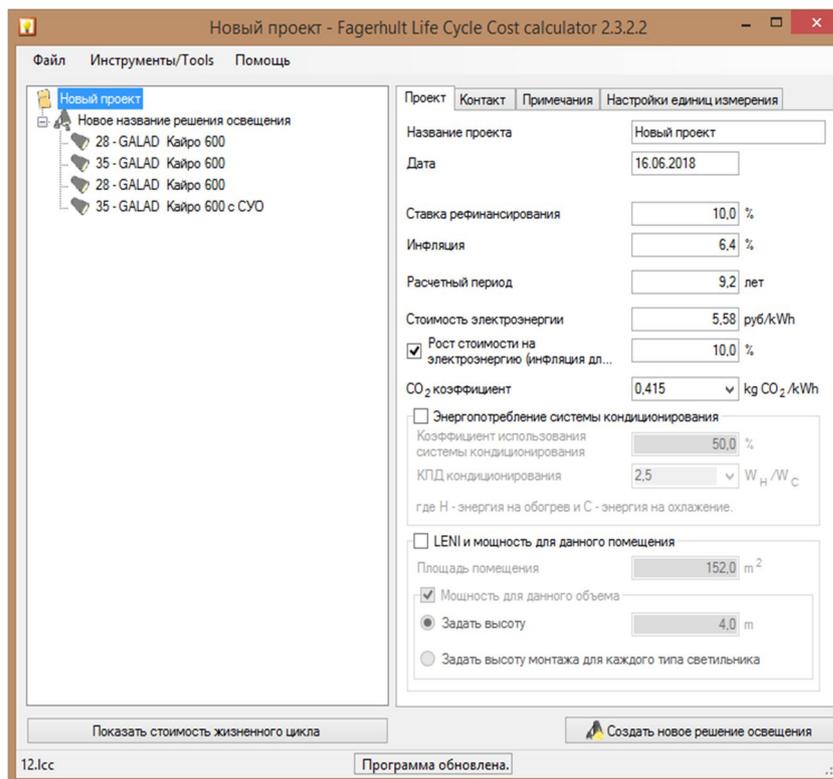


Рис. 3.2 – Интерфейс программы Fagerhult Life Cycle Cost Calculator 2.2.0.2.

Коэффициенты, учитывающие влияние инфляции, рассчитываются по формулам:

$$\text{коэффициент\_текущей\_суммы} = \frac{1 + a - (1 + a)^y \cdot (1 + a)^{1-y}}{a - i}, \quad (3.1)$$

где  $a$  – годовая процентная ставка (ставка рефинансирования),  $y$  – расчетный период в годах,  $i$  – инфляция в процентах

$$\text{коэффициент\_текущего\_значения} = \frac{\left(\frac{1+i}{1+a}\right)^{\frac{l}{d}} - \frac{1+i}{(1+a)^{(n+1)\frac{l}{d}}}}{1 - \left(\frac{1+i}{1+a}\right)^{\frac{l}{d}}}, \quad (3.2)$$

где  $a$  – годовая процентная ставка (ставка рефинансирования),  $i$  – инфляция в процентах,  $n$  – число замен ламп,  $d$  – время работы установки в год,  $l$  – срок службы источников света или интервал обслуживания осветительной установки.

Результаты расчетов приведены в таблице 3.3. Расчет производился для количества СП выбранных для проектирования ОУ во 2 главе.

Стоимость ЭЭ 5,58 руб. за кВт/час, рост стоимости ЭЭ 10% в год.

Таблица 3.3 Расчет окупаемости ОУ аудитории Н 202

	Решение №1 с СУО	Решение №1 без СУО	Решение №2 с СУО	Решение №2 без СУО
<b>Инвестиционные затраты</b>				
Общая стоимость светильников (без ИС)	122 724 р	122 724р	153 405 р	153 405 р
Общая стоимость источников света	0	0	0	0
Затраты на СУО	25 585 р	0 р	25 585р	0 р
Прочие затраты	2 000р	2 000 р	2 000 р	2 000 р
Общие инвестиционные затраты	158 679 р	124 724 р	189 360	155 403 р
<b>Затраты на электроэнергию</b>				
Общая подсоединенная мощность	1,12 кВт	1,12кВт	1,4кВт	1,4кВт
Средний коэффициент использования	0,8	1	0,65	1
Общая потребляемая мощность	896 Вт	1,12кВт	910 Вт	1,4кВт
Средний эксплуатационный срок	2 000 час	2 000 час	2 000 час	2 000 час
Общее энергопотребление/год	1,79 МВт час	2,24 МВт час/лет	2,33 МВт час/лет	
Общая стоимость электроэнергии за 1-й год	10 527 р	12 500 р	12 987 р	15 727 р
Общие затраты на электроэнергию при режиме обслуживания 10 000 ч	52 637 р	64 936 р	64 937 р	78 608 р
Общие затраты на электроэнергию при режиме обслуживания 15 000 ч	73 692 р	87 494 р	90 912 р	110 052 р
<b>Затраты на источники света</b>				
Общее количество источников света	28 СП	28 СП	25 СП	25 СП
Общая стоимость замены ламп	122 724 р	122 724 р	153 405 р	153 405 р
<b>Затраты на обслуживание</b>				
Общая стоимость обслуживания	4 383 р	4 383 р	4 383 р	4 383 р
Общие текущие затраты на обслуживание	122 724 р	122 724 р	153 405 р	153 405 р
<b>Затраты на обслуживание</b>				
Срок окупаемости без учета режима обслуживания	9 лет	6 лет	9,2 год	6,6 лет
Окупаемость при режиме обслуживания 10 000 ч	нет	нет	нет	нет
Окупаемость при режиме обслуживания 15 000 ч	нет	да	нет	да

Как видно из приведенной выше таблицы, с рассчитанным сроком окупаемости, заданной ценой на электроэнергию и минимальном прогнозируемом росте цен на нее, новые ОУ с СУО окупаются менее чем за 10 лет. И это притом,

что используются довольно простые системы управления. Однако это всего лишь прогнозируемые значения, так как рост цен ежегодно на ЭЭ может меняться не равномерно, а так же большой спектр систем управления может позволить себе выбрать более бюджетную.

Исходя из расчета окупаемости, режим обслуживания 10 000 часов для всех рассмотренных случаев нецелесообразен. Затраты на ЭЭ не покрывают капитальные затраты. В отдельности, если рассматривать ОУ без использования систем управления, то окупаемость СП составляет 6-6,6 лет. Проводить обслуживание ОУ через 15 000 ч имеет смысл при дальнейшем использовании выбранной системы управления с новыми СП. Использование системы управления, несомненно, вносит свой вклад в долгую окупаемость, но и позволяют значительно экономить ЭЭ до 35%. Данный тип светильника относится к премиум-классу и, возможно, его аналог меньший по стоимости было бы целесообразнее использовать. В целом увеличение количества СП от 28 до 35 штук не сильно сказывается на сроке окупаемости ОУ. Однако меньшее количество светильников позволяет сократить общую подсоединенную мощность в 1,25 раза.

Стоит отметить, что все учебные заведения независимо от режима работы и времени проведения пар, вечернее или дневное ( в данном случаи был рассмотрен дневной режим работы), имеют ежегодные каникулы 2 месяца, когда ОУ не будет включаться на протяжении всего этого времени, за редким исключением.

Срок службы изделия (10 лет) сопоставим со сроком окупаемости в целом. Однако прибыли такая ОУ особой не принесет. С другой стороны, развитие светодиодов не стоит на месте и только можно догадываться о том, какими характеристиками будут обладать они через 10 лет. Необходимость в замене ОУ возникнет именно по этим причинам.

#### Рассмотрим аудиторию №2 Б-305

Описание помещения было приведено в светотехнической части проекта. Перечень оборудования в ОУ с указанием его стоимости приведен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 Стоимость оборудования установок

Наименование оборудования	Стоимость за шт, руб.	Кол-во, шт	Итоговая стоимость, руб
Светильник GALAD Кайро 600 LED-40/П/КЛ/5000	4 383	25	109 575
		28	122 724
		30	131 490
		35	153 405
LRC 1030/1035 - программируемая версия многофункционального контроллера.	6 400	1	6 400
датчик освещенности LRL 8101	2 800	2	5 600
датчики движения с внутренними таймерами LRM 8112	1 000	1	1 000
мультидатчик LRI 8133 с ИК приемником	4 315	1	4 315
инфракрасные приемники IRR 1224 и IRR 8124	2 275	1	2 275
выключатель LCU 8020	3 600	1	3 600
потенциометров 100	1 770	1	1 770
Общая стоимость оборудования			<b>137 644</b>
			<b>147 724</b>
			<b>155 850</b>
			<b>177 765</b>

Выбранная система управления учитывает естественное освещение. Учет ЕО вносит наибольший вклад в снижение эксплуатационных затрат на электроэнергию. Алгоритм управления был выбран с фиксированной разностью потоков 30 %. Датчики освещенности располагались на линии светильников, расположенных вдоль окон на торцах. Результат расчета приведен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 Мощность установки в течение года

Мощность установки, %				
часы	9	12	15	18
Сентябрь	65%	33,3%	40%	90%
Декабрь	90%	76,6%	90%	90%
Март	40%	50%	40%	90%
Июнь	50%	50%	25%	0%
Средняя за год		<b>57%</b>		

Данный алгоритм вносит большой вклад в экономию ЭЭ, однако при расчете ОУ в марте в 15 часов, когда солнце движется практически вдоль горизонта, при солнечном дне, освещенность на втором ряду превышает освещенность первого в 2 раза. Учитывая то, что датчики запрограммированы так, что суммарная освещенность определяется для первого ряда парт, то в таком случаи система управления будет работать неверно. В таблице 3.6 представлена установленная и средняя мощность ОУ.

Таблица 3.6 Установленная и средняя мощность за год ОУ при различном количестве светильников

Количество СП	Установленная мощность Руст	Средняя мощность установки за год Рср
25	1кВт	570 Вт
28	1,12кВт	638 Вт
30	1,20кВт	684 Вт
32	1,28кВт	729 Вт

Расчет основных технико-экономических показателей производился в программе Fagerhult Life Cycle Cost Calculator 2.2.0.2. Результаты представлены в таблицах 3.7 и 3.8.

Стоимость ЭЭ 5,58 руб. за кВт/час, рост стоимости ЭЭ 10% в год.

Таблица 3.7 Расчет окупаемости ОУ аудитории Б 305

	Решение №1 с СУО	Решение №1 без СУО	Решение №2 с СУО	Решение №2 без СУО
<b>Инвестиционные затраты</b>				
Общая стоимость светильников (без ИС)	137 644 р	137 644 р	155 850 р	155 850 р
Общая стоимость источников света	0	0	0	0
Затраты на СУО	28 069 р	0 р	28 069 р	0 р
Прочие затраты	2 000р	2 000 р	2 000 р	2 000 р
Общие инвестиционные затраты	168 288 р	139 644 р	185 919 р	157 850 р
<b>Затраты на электроэнергию</b>				
Общая подсоединенная мощность	1кВт	1кВт	1,12кВт	1,12кВт
Средний коэффициент использования	0,57	1	0,57	1
Общая потребляемая мощность	570 Вт	1кВт	638 Вт	1,12 кВт
Средний эксплуатационный срок	2 000 час	2 000 час	2 000 час	2 000 час
Общее энергопотребление/год	1,14 МВт час	2 МВт час	1,28 МВт час	2,24МВт час
Общая стоимость электроэнергии за 1-й год	6 361 р	11 160 р	7 125 р	12 375 р
Общие затраты на электроэнергию при режиме обслуживания 10 000 ч	31 806 р	55 800 р	35 623	75 553 р
Общие затраты на электроэнергию при режиме обслуживания 15 000 ч	44 528 р	78 120 р	49 872 р	117 376 р
<b>Затраты на источники света</b>				
Общее количество источников света	СП	СП	СП	СП
Общая стоимость замены ламп	25	25	28	28
<b>Затраты на обслуживание</b>				
Общая стоимость обслуживания	4 383 р	4 383 р	4 383 р	4 383 р
Общие текущие затраты на обслуживание	137 644 р	137 644 р	155 850 р	155 850 р
<b>Затраты на обслуживание</b>				
Срок окупаемости без учета режима обслуживания	12 лет	6,5 лет	12 лет	7 лет
Окупаемость при режиме обслуживания 10 000 ч	нет	нет	нет	да
Окупаемость при режиме обслуживания 15 000 ч	нет	да	нет	нет

Таблица 3.8 Расчет окупаемости ОУ аудитории Б 305

	Решение №3 с СУО	Решение №3 без СУО	Решение №4 с СУО	Решение №4 без СУО
<b>Инвестиционные затраты</b>				
Общая стоимость светильников (без ИС)	155 850 р	155 850 р	177 765 р	177 765 р
Общая стоимость источников света	0	0	0	0
Затраты на СУО	28 069 р	0 р	28 069 р	0 р
Прочие затраты	2 000р	2 000 р	2 000 р	2 000 р
Общие инвестиционные затраты	185 919 р	157 850 р	207 834 р	179 765 р
<b>Затраты на электроэнергию</b>				
Общая подсоединенная мощность	1,2кВт	1,2кВт	1,28кВт	1,28кВт
Средний коэффициент использования	0,57	1	0,57	1
Общая потребляемая мощность	684 Вт	1,2 кВт	729 Вт	1,28кВт
Средний эксплуатационный срок	2 000 час	2 000 час	2 000 час	2 000 час
Общее энергопотребление/год	1,37 МВт час	2,4 МВт час	1,46 МВт час	2,56 МВт час
Общая стоимость электроэнергии за 1-й год	7 558р	13 259 р	8 142 р	14 143 р
Общие затраты на электроэнергию при режиме обслуживания 10 000 ч	38 167 р	80 950	40 712 р	86 347 р
Общие затраты на электроэнергию при режиме обслуживания 15 000 ч	53 434 р	125 720 р	56 996 р	276 400 р
<b>Затраты на источники света</b>				
Общее количество источников света	30 СП	30 СП	32 СП	32 СП
Общая стоимость замены ламп	155 850 р	155 850 р	177 765 р	177 765 р
<b>Затраты на обслуживание</b>				
Общая стоимость обслуживания	4 383 р	4 383 р	4 383 р	4 383 р
Общие текущие затраты на обслуживание	155 850 р	155 850 р	177 765 р	177 765 р
<b>Затраты на обслуживание</b>				
Срок окупаемости без учета режима обслуживания	12 лет	7 лет	11,9 лет	7,4 лет
Окупаемость при режиме обслуживания 10 000 ч	нет	нет	нет	нет
Окупаемость при режиме обслуживания 15 000 ч	нет	Да	нет	нет

В таблицах 3.7 и 3.8 приведены затраты ЭЭ и сроки окупаемости ОУ. Проведено сопоставление ОУ с использованием СУО и без него. Общая потребляемая мощность ОУ с использованием систем управления почти в 2 раза меньше, чем решения представленные без СУО. Вследствие этого и затраты на ЭЭ уменьшаются в 2 раза. Такие ОУ являются эффективными, однако имеют большой срок окупаемости в 12 лет.

В Европе и США установки с использованием СУО окупаются за 5 лет, в нашей стране наиболее простые СУО типа могут окупиться за 7 лет, только если тариф на ЭЭ будет расти на 30% и более в год. В остальных случаях установка будет не рентабельна в денежном выражении, но при наличии дефицита ЭЭ позволит потреблять меньше кВт, значит, при постоянном росте спроса, поможет вводить меньше новых мощностей по выработке ЭЭ, и тем самым снизить общие выбросы парниковых газов в окружающую среду.

### 3.2 Выводы по экономической части

Как видно из приведенных выше таблиц, с приведенным сроком окупаемости даже при самой низкой цене на электроэнергию и минимальном прогнозируемом росте цен на нее, новые ОУ с СУО окупаются достаточно долго. И это притом, что используются довольно простые системы управления. Дефицит электроэнергии, который начинает ощущаться уже сейчас, в будущем приведет к строгому лимитированию выделяемых мощностей и существенному росту цен на электроэнергию. Применение СУО в образовательных учреждениях требует тщательного подхода. Создавать такую установку будет целесообразно при необходимости централизованного управления зданием, а также при большой часовой наработке ОУ в год. Развитие светодиодов не стоит на месте и только можно догадываться о том, какими характеристиками будут обладать они через 5-10 лет. Необходимость в смене ОУ возникнет именно по этим причинам. Стоимость светильников, которые сейчас можно отнести к «премиум» классу, будут постепенно подавать в цене. Применение светодиодных светильников без систем управления окупятся быстрее в 2 раза, но и их эксплуатация после 15 000 часов будет уже непригодна. Несмотря на то, что в нашей стране существуют государственные программы по энергосбережению многие пользователи не готовы понести большие капитальные затраты на создание этой эффективной установки. Вот такой дисбаланс не дает внедрять СУО в общественные здания. Пока человечество не придет к единому решению о необходимости сбережения

ЭЭ, а будет думать только о том как сэкономить и получить прибыль от этого, внедрение СУО в одном здании никак не скажется на потреблении ЭЭ в целом в стране и на планете. Введение ограниченных потребляемых мощностей может являться как одним из способов решения данной проблемы.

## ВЫВОДЫ

1. При проектировании ОУ проектировщик должен владеть полной технической информацией об используемом оборудовании. Прежде всего, необходимо знать спад светового потока используемых светодиодных светильников, а также вероятность выхода из строя элементов светильников.

2.  $K_3$  должен рассчитываться индивидуально с учётом как особенностей параметров и характеристик используемых светильников, так и особенностей освещаемых помещений и режима обслуживания ОУ. Взятое по умолчанию значение коэффициента запаса может привести к тому, что освещенность станет ниже нормируемой величины задолго до групповой замены СП.

3. Даже при современном уровне значений параметров и характеристик светодиодных светильников возможно существенное уменьшение удельной мощности ОУ до  $7,11 \text{ Вт/м}^2$ .

4. Использование СУО в осветительных установках учебных аудиторий позволяет достичь экономии ЭЭ до 50%.

5. Срок окупаемости эффективных решений при современных ценах на ЭЭ и годовых темпах роста цен (10%) составляет 9 -12 лет в зависимости от типа помещения, поэтому применение таких систем в наше время вряд ли можно считать целесообразным.

6. Срок окупаемости ОУ при высоких темпах роста цен на ЭЭ (30%) и современном уровне параметров и характеристик светодиодных светильников снижается до 6-7 лет и менее, а если учитывать тенденцию увеличения световой отдачи светильников и заметное снижение стоимости СД, то эта цифра снижается до 3-5 лет.

7. При существующих характеристиках офисно-административных светильниках групповую замену светодиодных светильников целесообразно проводить не реже чем через 15 000 ч.

Таким образом, внедрение энергоэффективных ИС и СУО в ОУ общественных зданий является экономичным решением пока только с точки зрения потребления ЭЭ. Однако дефицит электроэнергии, который начинает ощущаться уже сейчас, в будущем может привести к строгому ограничению выделяемых мощностей и существенному росту цен на электроэнергию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В. Фильчаков Формирование конкурентных отношений в Российской энергетике//Вестник Нижегородского университета им Лобачевского, 2010 № 3, с.625-630.
2. Energy information administration [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.eia.gov>.
3. International Energy Agency. 2009. Key World Energy Statistics / IEA Publications, France.
4. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года».
5. Дроговоз П.А., Курбаналиев А.А. Мировые тренды энергосбережения и повышения энергоэффективности. Materiały X Międzynarodowej naukowipraktycznej konferencji «Strategiczne pytania światowej nauki — 2014». Vol.35. Techniczne nauki. Przemysł. Nauka i studia, 2014. S. 29–32.
6. Всемирный банк: « Показатели мирового развития» [Электронный ресурс] <http://www.google.com/publicdata/explore?ds=wb-wdi>.
7. Министерство энергетики РФ [Электронный ресурс] <https://minenergo.gov.ru/node/10277>.
8. Энергопотребление на цели освещения в зданиях [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.lightinglab.fi/IEAAnnex45/guidebook/2\\_lighting%20energy%20in%20buildings.pdf](http://www.lightinglab.fi/IEAAnnex45/guidebook/2_lighting%20energy%20in%20buildings.pdf).
9. Light's labour's lost Policies for Energy-efficient Lighting In support of the G8 Plan of Action.
10. Пономаренко И.С. Аксенов Д.А. Экономия электроэнергии в системах электрического освещения промышленных предприятий и городов. [Электронный ресурс] [http://www.erisnpf.ru/publications/Statya\\_ARN-EO.pdf](http://www.erisnpf.ru/publications/Statya_ARN-EO.pdf).

11. Гвоздев С.М., Панфилов Д.И. Энергоэффективное электрическое освещение, под ред. Л.П. Варфоломеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 288с.
12. Долгопол Т.П. Энергоэффективные источники света для учебных заведений // Вестник Кузбасского государственного технического университета, №1 – 2011г, стр 64.
13. Официальный сайт OSRAM. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.osram.ru/ds/ecat/Люминесцентные%20лампы%20T8-Люминесцентные%20лампы-Лампы/ru/ru/GPS01\\_1027857/PP\\_EUROPE\\_RU\\_eCat/](https://www.osram.ru/ds/ecat/Люминесцентные%20лампы%20T8-Люминесцентные%20лампы-Лампы/ru/ru/GPS01_1027857/PP_EUROPE_RU_eCat/)
14. Л.П. Варфоломеев Элементарная светотехника. / Под редакцией Ю.Б.Айзенберга. / М.: «Знак». 2008. 220с.
15. ГОСТ 19680-74 «Аппараты пускорегулирующие стартерные для люминесцентных ламп. Технические условия».
16. Варфоломеев Л.П. Электронные ПРА и системы управления освещением/ Под общей редакцией доктора техн. наук, профессора Ю. Б. Айзенберга. - М., 2002.
17. Проблемы энергосбережения России [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docplayer.ru/39654738-Problemy-energoberezheniya-v-rossii.html>.
18. Айзенберг, Ю.Б. Энергосбережение в освещении/ Ю.Б. Айзенберг, Л.П. Варфоломеев// Дом света, издательство «Знак». – 1999. – С268.
19. А. Э. Юнович “Что такое светодиод?“, [www.toprosel.ru](http://www.toprosel.ru).
20. М.Л. Бадгутдинов «Особенности излучательной рекомбинации в р-п-гетероструктурах InGaN/AlGaN/GaN с множественными квантовыми ямами и светодиодах на их основе», 2007.
21. Р. Хайнц, К. Вахтманн “Неорганические светодиоды. Обзор” Светотехника №3 2003.
22. Справочник «Светодиодное освещение» © 2010 Philips Solid-State Lighting Solutions, Inc.
23. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 – 496с.

24. Айзенберг Ю.Б. Основы конструирования световых приборов: уч. пособ. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 704 с.
25. Браун С. Оптимизация параметров и срока службы LED-ламп // Полупроводниковая светотехника. - 2012. - № 6. - С. 34-35.
26. Дергунова Н., Макеева И., Рожкова Т. О разработке новых методик испытаний энергоэффективных источников света на ресурс // Современная светотехника. - 2012. - № 4. - С. 30-33.
27. Дохтуров В., Смирнов С. Временная и тепловая стабильность параметров полупроводниковых источников света при ускоренных испытаниях // Полупроводниковая светотехника. – 2014. - № 6. – С. 42-45.
28. Шанда Я. «Сто лет твердотельной люминесценции и задачи на будущее» - Светотехника №1, 2007, стр. 18-25.
29. Конопельчко А. Источники питания для светильников ЖКХ // Современная светотехника. - 2012. - № 2. - С. 54-57.
30. Рейтинг светодиодных источников питания. Комментарий редакции // Современная светотехника. - 2012. - № 3. - С. 3-5.
31. Электросбережение и электропотребление [Электронный ресурс]: <http://www.patriot-nrg.ua/rus/savings/view/62>.
32. Об экономии электрической энергии в осветительных установках с автоматизированными системами управления. / Гребенщиков А.А., Елисеев Н.П.; МЭИ. М., 2008.
33. Диссертация. Исследование и оптимизация энергопотребления в осветительных установках внутреннего освещения с автоматическим управлением. Фомин А. Г. МЭИ. 2000.
34. Системы автоматизированного управления освещением общественных зданий. Фомин А. Г. М. Дом света, 1998.
35. Classification scheme of lighting control systems / Deneyer A. // IEA ECBCS Annex 45, Newsletter 3 – 2006.
36. СНиП 23-05-95.
37. ТСН 23-302-99 (МГСН 2.06-99).

38. Каталог фирмы GALAD 2018.
39. Tran Quoc Khan; Trinh Quang Vinh Журнал “Licht”, 2011, №11/12, с.76-80 – Gefährliche Mischung. Wirkungen von Strom und Temperatur auf die LED-Lebensdauer. Кафедра светотехники Технического университета (Дармштадт, Германия).
40. Ярочкина Г.В. Радиоэлектронная аппаратура и приборы: Монтаж и регулировка: Учебник для нач. проф. Образования. – М.: ИППО; ПрофОбрИздат, 2002. – 240с.
41. Официальный сайт Helvar [Электронный ресурс] [https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170316/LL1x10-42-E-CC\\_DATASHEET\\_RU.pdf](https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170316/LL1x10-42-E-CC_DATASHEET_RU.pdf).
42. QUICKTRONIC DALI/DIM Technical guide, Osram 2009.
43. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
44. Выпускная работа бакалавра. Эффективная установка профтехучилища. Павлова Е.И. МЭИ 2016.
45. Справочная книга по светотехнике/Под ред. С 74 Ю. Б. Айзенберга. — М.: Энергоатомиздат, 1983.— 472.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 Значения освещенности ОУ аудитории Н 202 при номинальных параметрах СП. Режим обслуживания через 5000 и 10000 ч

Время, ч	№	Обозначение	Еср, лк	Емин, лк	Емакс, лк	Емин/Еср	Емин/Емакс
0	1	Ряд 1	430	400	465	0,93	0,86
5 000			396	353	421	0,89	0,84
10 000			371	331	394	0,89	0,84
0	2	Ряд 2	463	406	501	0,88	0,81
5 000			435	382	471	0,88	0,81
10 000			407	357	441	0,88	0,81
0	3	Ряд 3	498	428	543	0,86	0,79
5 000			468	402	510	0,86	0,79
10 000			438	376	478	0,86	0,79
0	4	Ряд 4	520	435	568	0,84	0,77
5 000			489	409	534	0,84	0,77
10 000			458	383	500	0,84	0,77
0	5	Ряд 5	528	435	580	0,82	0,75
5 000			497	409	546	0,82	0,75
10 000			465	383	511	0,82	0,75
0	6	Ряд 6	540	457	586	0,85	0,78
5 000			508	429	551	0,84	0,78
10 000			475	402	516	0,85	0,78
0	7	Ряд 7	572	496	608	0,87	0,82
5 000			538	466	572	0,87	0,81
10 000			504	437	535	0,87	0,82
0	8	Ряд 8 лев	520	457	473	0,88	0,8
5 000			489	430	539	0,88	0,8
10 000			457	402	505	0,88	0,8
0	9	Ряд 8 прав	528	468	576	0,89	0,81
5 000			496	440	541	0,89	0,81
10 000			465	412	507	0,89	0,81
0	10	Ряд 9 лев	550	488	600	0,89	0,81
5 000			531	464	588	0,87	0,78
10 000			484	430	528	0,89	0,81
0	11	Ряд 9 прав	553	494	602	0,89	0,82
5 000			517	459	564	0,89	0,81
10 000			486	435	529	0,9	0,82
0	12	Ряд 10 лев	548	464	590	0,85	0,79
5 000			515	436	555	0,85	0,79
10 000			482	408	520	0,85	0,78
0	13	Ряд 10 прав	554	460	595	0,83	0,77
5 000			521	432	560	0,83	0,77
10 000			488	405	524	0,83	0,77
0	14	Стол преподавателя	420	402	451	0,95	0,93
5 000			363	341	382	0,94	0,89
10 000			339	319	357	0,94	0,89
0	15	Доска	321	302	350	0,94	0,86
5 000			300	290	349	0,96	0,83
10 000			280	261	341	0,93	0,76

Таблица А.2 Значения освещенности ОУ аудитории Н 202 после 10 000 ч и 15 000 ч работы, при спаде светового потока, соответствующий температуре р-п перехода 63<sup>0</sup>С

Время, ч	№	Обозначение	Еср, лк	Емин, лк	Емакс, лк	Емин/Еср	Емин/Емакс
10 000	1	Ряд 1	471	424	487	0,9	0,87
15 000			438	412	453	0,94	0,88
10 000	2	Ряд 2	492	435	532	0,88	0,81
15 000			461	410	499	0,88	0,82
10 000	3	Ряд 3	519	444	565	0,86	0,79
15 000			486	416	529	0,86	0,79
10 000	4	Ряд 4	528	442	578	0,84	0,76
15 000			494	413	540	0,84	0,76
10 000	5	Ряд 5	519	429	570	0,83	0,75
15 000			484	402	532	0,83	0,75
10 000	6	Ряд 6	513	435	558	0,85	0,78
15 000			476	403	518	0,85	0,78
10 000	7	Ряд 7	529	459	562	0,87	0,82
15 000			490	425	520	0,87	0,82
10 000	8	Ряд 8 лев	477	420	525	0,88	0,8
15 000			451	410	495	0,9	0,82
10 000	9	Ряд 8 прав	484	429	528	0,89	0,81
15 000			447	403	488	0,9	0,82
10 000	10	Ряд 9 лев	500	445	545	0,89	0,82
15 000			462	411	503	0,89	0,82
10 000	11	Ряд 9 прав	502	450	546	0,9	0,82
15 000			463	416	504	0,9	0,83
10 000	12	Ряд 10 лев	496	419	533	0,84	0,79
15 000			458	402	492	0,87	0,81
10 000	13	Ряд 10 прав	502	416	538	0,83	0,77
15 000			480	407	492	0,84	0,82
10 000	14	Стол преподавателя	460	412	468	0,89	0,88
15 000			423	400	455	0,94	0,87
10 000	15	Доска	393	343	445	0,87	0,77
15 000			369	322	418	0,87	0,77

Таблица А.3 Значения освещенности ОУ аудитории Н 202 после 10 000 ч и 15 000 ч работы, при спаде светового потока, соответствующий температуре р-п перехода 74<sup>0</sup>С

Время, ч	№	Обозначение	Еср, лк	Емин, лк	Емакс, лк	Емин/Еср	Емин/Емакс
10 000	1	Ряд 1	424	400	499	0,88	0,81
15 000			413	401	467	0,97	0,85
10 000	2	Ряд 2	461	404	499	0,88	0,81
15 000			450	406	487	0,88	0,81
10 000	3	Ряд 3	474	406	516	0,86	0,79
15 000			504	433	548	0,86	0,79

Продолжение таблицы А.3

10 000	4	Ряд 4	482	409	527	0,84	0,76
15 000			511	430	561	0,84	0,77
10 000	5	Ряд 5	472	411	519	0,87	0,79
15 000			501	415	550	0,83	0,75
10 000	6	Ряд 6	465	409	505	0,87	0,8
15 000			491	413	535	0,84	0,77
10 000	7	Ряд 7	478	415	507	0,87	0,82
15 000			506	439	540	0,87	0,81
10 000	8	Ряд 8 лев	451	415	473	0,92	0,87
15 000			459	404	507	0,88	0,8
10 000	9	Ряд 8 прав	436	410	476	0,94	0,86
15 000			466	413	509	0,89	0,81
10 000	10	Ряд 9 лев	450	411	491	0,91	0,83
15 000			485	430	526	0,89	0,82
10 000	11	Ряд 9 прав	452	405	492	0,9	0,82
15 000			486	436	527	0,9	0,83
10 000	12	Ряд 10 лев	446	402	480	0,9	0,83
15 000			486	410	525	0,73	0,67
10 000	13	Ряд 10 прав	452	406	484	0,89	0,83
15 000			492	415	530	0,84	0,78
10 000	14	Стол преподавателя	413	400	439	0,96	0,91
15 000			420	400	467	0,9	0,84
10 000	15	Доска	359	322	418	0,87	0,77
15 000			342	334	436	0,97	0,78

Таблица А.4 Значения освещенности ОУ аудитории Н 202 после 10 000 ч и 15 000 ч работы, при спаде светового потока, соответствующий температуре р-п перехода 100<sup>0</sup>С

Время, ч	№	Обозначение	Еср, лк	Емин, лк	Емакс, лк	Емин/Еср	Емин/Емакс
10 000	1	Ряд 1	459	410	488	0,89	0,84
15 000			431	401	452	0,93	0,88
10 000	2	Ряд 2	500	438	541	0,88	0,81
15 000			465	407	502	0,88	0,81
10 000	3	Ряд 3	526	453	573	0,86	0,79
15 000			490	422	533	0,86	0,79
10 000	4	Ряд 4	534	449	585	0,84	0,77
15 000			499	420	547	0,84	0,77
10 000	5	Ряд 5	523	433	575	0,83	0,75
15 000			491	407	539	0,83	0,76
10 000	6	Ряд 6	491	413	535	0,84	0,77
15 000			482	404	525	0,84	0,77
10 000	7	Ряд 7	506	439	540	0,87	0,81
15 000			493	426	526	0,86	0,81
10 000	8	Ряд 8 лев	479	422	530	0,88	0,8
15 000			441	405	488	0,89	0,82
10 000	9	Ряд 8 прав	466	413	509	0,89	0,81
15 000			448	403	490	0,89	0,81

Продолжение таблицы А.4

10 000	10	Ряд 9 лев	506	449	550	0,89	0,82
15 000			463	410	502	0,89	0,82
10 000	11	Ряд 9 прав	486	436	527	0,9	0,83
15 000			464	415	503	0,89	0,83
10 000	12	Ряд 10 лев	508	420	549	0,73	0,67
15 000			482	416	499	0,73	0,67
10 000	13	Ряд 10 прав	514	430	553	0,83	0,77
15 000			480	428	503	0,71	0,66
10 000	14	Стол преподавателя	429	405	451	0,94	0,9
15 000			415	400	438	0,96	0,91
10 000	15	Доска	376	325	354	0,85	0,75
15 000			369	322	418	0,87	0,77

Таблица А.5 Расчет удельной мощности ОУ

Количество светильников	28 штук	35 штук
Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup>	7,11	8,9

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 Значения освещенности ОУ аудитории Б 305 при номинальных параметрах СП. Режим обслуживания через 5000 и 10000 ч

Время, ч	№	Обозначение	Еср, лк	Емин, лк	Емакс, лк	Емин/Еср	Емин/Емакс
0	1	Ряд 1- парта 1	468	410	538	0,85	0,72
5 000			478	408	418	0,85	0,72
10 000			458	390	409	0,85	0,72
0	2	Ряд 1- парта 2	592	497	654	0,84	0,76
5 000			556	467	615	0,84	0,76
10 000			521	437	576	0,84	0,76
0	3	Ряд 1- парта 3	578	472	653	0,82	0,72
5 000			543	443	514	0,82	0,72
10 000			506	415	516	0,82	0,72
0	4	Ряд 1- парта 4	669	614	698	0,92	0,88
5 000			629	578	656	0,92	0,88
10 000			589	541	614	0,92	0,88
0	5	Ряд 1- парта 5	587	477	664	0,81	0,72
5 000			552	448	624	0,81	0,72
10 000			516	420	585	0,81	0,72
0	6	Ряд 1- парта 6	584	480	656	0,82	0,73
5 000			549	452	616	0,82	0,73
10 000			514	423	577	0,82	0,73
0	7	Ряд 1- парта 7	643	585	671	0,91	0,87
5 000			604	550	630	0,91	0,87
10 000			566	515	590	0,91	0,87
0	8	Ряд 1- парта 8	525	432	590	0,82	0,73
5 000			494	406	555	0,82	0,73
10 000			462	381	519	0,82	0,73
0	9	Ряд 2- парта 1	628	598	657	0,95	0,91
5 000			590	562	598	0,95	0,91
10 000			553	527	578	0,95	0,91
0	10	Ряд 2- парта 2	594	558	636	0,94	0,88
5 000			558	525	596	0,94	0,88
10 000			523	491	560	0,91	0,88
0	11	Ряд 2- парта 3	594	557	638	0,94	0,87
5 000			558	523	566	0,94	0,87
10 000			523	490	561	0,94	0,87
0	12	Ряд 2- парта 4	674	638	703	0,95	0,91
5 000			633	599	661	0,95	0,91
10 000			593	490	561	0,92	0,86
0	13	Ряд 2- парта 5	592	546	638	0,94	0,87
5 000			556	513	600	0,92	0,86
10 000			521	480	561	0,92	0,86
0	14	Ряд 2- парта 6	600	568	644	0,95	0,88
5 000			564	534	606	0,95	0,88
10 000			528	500	567	0,95	0,88

Продолжение таблицы Б.1

0	15	Ряд 2- парта 7	653	615	683	0,94	0,9
5 000			614	578	642	0,94	0,9
10 000			575	541	601	0,94	0,9
0	16	Ряд 2- парта 8	536	506	574	0,94	0,88
5 000			504	476	540	0,94	0,88
10 000			472	446	505	0,94	0,88
0	17	Стол преподавателя	458	400	538	0,85	0,72
5 000			448	391	460	0,87	0,85
10 000			403	343	473	0,85	0,73
0	18	Доска	400	374	420	0,93	0,89
5 000			372	350	393	0,94	0,89
10 000			313	294	328	0,94	0,9

Таблица Б.2 Значения освещенности ОУ аудитории Б 305 после 10 000 ч и 15 000 ч работы, при спаде светового потока, соответствующий температуре р-п перехода 63<sup>0</sup>С

Время, ч	№	Обозначение	Еср, лк	Емин, лк	Емакс, лк	Емин/Еср	Емин/Емакс
10 000	1	Ряд 1- парта 1	542	453	624	0,84	0,73
15 000			579	522	616	0,9	0,85
10 000	2	Ряд 1- парта 2	609	544	658	0,89	0,83
15 000			562	502	608	0,89	0,83
10 000	3	Ряд 1- парта 3	616	556	655	0,9	0,85
15 000			567	512	604	0,9	0,85
10 000	4	Ряд 1- парта 4	628	566	671	0,9	0,84
15 000			579	522	616	0,9	0,85
10 000	5	Ряд 1- парта 5	613	547	658	0,89	0,83
15 000			565	504	607	0,89	0,83
10 000	6	Ряд 1- парта 6	601	522	667	0,87	0,78
15 000			554	481	614	0,87	0,78
10 000	7	Ряд 1- парта 7	533	414	644	0,78	0,64
15 000			490	400	594	0,78	0,64
10 000	8	Ряд 1- парта 8	439	400	476	0,91	0,84
15 000			466	380	573	0,9	0,84
10 000	9	Ряд 2- парта 1	560	519	561	0,93	0,88
15 000			516	478	544	0,93	0,88
10 000	10	Ряд 2- парта 2	560	519	591	0,93	0,88
15 000			567	517	587	0,91	0,88
10 000	11	Ряд 2- парта 3	622	567	652	0,91	0,87
15 000			583	532	612	0,91	0,87
10 000	12	Ряд 2- парта 4	633	578	664	0,91	0,87
15 000			583	532	612	0,91	0,87
10 000	13	Ряд 2- парта 5	620	567	647	0,91	0,88
15 000			572	522	596	0,91	0,88
10 000	14	Ряд 2- парта 6	614	563	637	0,92	0,88
15 000			567	519	587	0,92	0,88

Продолжение Б.2

10 000	15	Ряд 2- парта 7	561	509	614	0,91	0,83
15 000			517	470	566	0,91	0,83
10 000	16	Ряд 2- парта 8	539	488	583	0,91	0,84
15 000			497	451	537	0,91	0,84
10 000	17	Стол преподавателя	441	402	487	0,91	0,83
15 000			406	390	469	0,91	0,83
10 000	18	Доска	343	315	363	0,92	0,87
15 000			315	290	333	0,92	0,87

Таблица Б.3 Значения освещенности ОУ аудитории Б 305 после 10 000 ч и 15 000 ч работы, при спаде светового потока, соответствующий температуре р-п перехода 74<sup>0</sup>С

Время, ч	№	Обозначение	Еср, лк	Емин, лк	Емакс, лк	Емин/Еср	Емин/Емакс
10 000	1	Ряд 1- парта 1	486	406	561	0,84	0,72
15 000			447	412	468	0,92	0,88
10 000	2	Ряд 1- парта 2	547	488	590	0,89	0,83
15 000			449	400	481	0,89	0,83
10 000	3	Ряд 1- парта 3	553	499	588	0,9	0,85
15 000			531	490	555	0,92	0,88
10 000	4	Ряд 1- парта 4	564	508	602	0,9	0,84
15 000			469	407	521	0,86	0,78
10 000	5	Ряд 1- парта 5	551	491	591	0,89	0,83
15 000			530	485	557	0,92	0,87
10 000	6	Ряд 1- парта 6	540	468	599	0,87	0,78
15 000			469	405	516	0,86	0,78
10 000	7	Ряд 1- парта 7	479	372	578	0,78	0,64
15 000			503	454	526	0,9	0,86
10 000	8	Ряд 1- парта 8	454	382	557	0,84	0,68
15 000			434	480	487	0,92	0,82
10 000	9	Ряд 2- парта 1	503	466	530	0,93	0,88
15 000			503	478	522	0,95	0,92
10 000	10	Ряд 2- парта 2	553	504	573	0,91	0,88
15 000			464	438	496	0,94	0,88
10 000	11	Ряд 2- парта 3	558	509	585	0,91	0,87
15 000			539	512	559	0,95	0,92
10 000	12	Ряд 2- парта 4	568	519	596	0,91	0,87
15 000			481	459	511	0,95	0,9
10 000	13	Ряд 2- парта 5	557	509	581	0,91	0,88
15 000			540	510	560	0,94	0,91
10 000	14	Ряд 2- парта 6	551	505	572	0,92	0,88
15 000			480	460	505	0,96	0,91
10 000	15	Ряд 2- парта 7	504	457	551	0,91	0,83
15 000			514	490	533	0,95	0,92
10 000	16	Ряд 2- парта 8	484	439	524	0,91	0,84
15 000			437	427	453	0,95	0,92

Продолжение таблицы Б.3

10 000	17	Стол преподавателя	439	400	481	0,91	0,83
15 000			445	410	501	0,92	0,81
10 000	18	Доска	307	283	326	0,92	0,87
15 000			275	265	285	0,96	0,93

Таблица Б.4 Значения освещенности ОУ аудитории Б 305 после 10 000 ч и 15 000 ч работы, при спаде светового потока, соответствующий температуре р-п перехода 100<sup>0</sup>С

Время, ч	№	Обозначение	Еср, лк	Емин, лк	Емакс, лк	Емин/Еср	Емин/Емакс
10 000	1	Ряд 1- парта 1	520	478	567	0,91	0,84
15 000			508	439	550	0,86	0,8
10 000	2	Ряд 1- парта 2	568	475	600	0,83	0,79
15 000			574	526	598	0,92	0,88
10 000	3	Ряд 1- парта 3	510	503	542	0,98	0,92
15 000			504	413	570	0,82	0,72
10 000	4	Ряд 1- парта 4	651	505	754	0,78	0,67
15 000			586	538	615	0,92	0,87
10 000	5	Ряд 1- парта 5	590	496	603	0,84	0,82
15 000			512	426	573	0,83	0,74
10 000	6	Ряд 1- парта 6	646	503	749	0,78	0,67
15 000			560	502	589	0,9	0,85
10 000	7	Ряд 1- парта 7	578	500	600	0,86	0,83
15 000			523	459	560	0,88	0,82
10 000	8	Ряд 1- парта 8	504	436	521	0,86	0,83
15 000			439	402	476	0,91	0,84
10 000	9	Ряд 2- парта 1	575	520	600	0,9	0,86
15 000			514	494	544	0,96	0,91
10 000	10	Ряд 2- парта 2	670	577	697	0,86	0,79
15 000			583	546	608	0,94	0,9
10 000	11	Ряд 2- парта 3	508	481	569	0,94	0,84
15 000			514	480	554	0,93	0,87
10 000	12	Ряд 2- парта 4	693	605	744	0,87	0,81
15 000			592	557	617	0,94	0,9
10 000	13	Ряд 2- парта 5	517	489	554	0,94	0,88
15 000			525	496	563	0,94	0,88
10 000	14	Ряд 2- парта 6	603	555	635	0,92	0,87
15 000			566	545	593	0,96	0,92
10 000	15	Ряд 2- парта 7	622	603	678	0,96	0,88
15 000			533	518	561	0,97	0,92
10 000	16	Ряд 2- парта 8	451	409	510	0,9	0,8
15 000			440	418	465	0,95	0,9
10 000	17	Стол преподавателя	451	400	525	0,88	0,76
15 000			462	401	510	0,86	0,78
10 000	18	Доска	368	359	377	0,96	0,95
15 000			320	300	358	0,93	0,83

Таблица Б.5 Расчет удельной мощности ОУ

Количество светильников	25 штук	28 штук	30 штук	32 штук
Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup>	9,5	10,7	11,5	12,2