

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Айхайти Исыхаэфу



**МЕТОД МНОГОЭТАПНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Специальность 05.09.07 – светотехника

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
д.б.н., профессор Тукшаитов Р.Х.

Казань 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ	12
1.1. Характеристика энергосберегающих возможностей светодиодных осветительных приборов и перспективы их применения.....	12
1.2. Технический контроль качества изделий и типы входного контроля ..	16
1.3. Основные контролируемые параметры светодиодных осветительных приборов	20
1.4. Методы и средства контроля параметров светодиодных освети- тельных приборов на этапе их производства и реализации	29
1.5. Подходы к определению рейтинга светодиодных осветительных приборов	34
1.6. Состояние контроля и типы бездрайверных светодиодных осве- тельных приборов	39
Выводы к первой главе	44
2. ЭТАПЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ	45
2.1. Разработка и применение метода предварительной экспресс-оценки эффективности светодиодных осветительных приборов- первый этап анализа и контроля	48
2.1.1. Обоснование несовершенства методики определения рейтинга светодиодных ламп и светильников на основе разнобалльной шкалы	48
2.1.2. Разработка аналитического выражения для предварительной экспресс-оценки эффективности светодиодных ламп и светильников	52
2.1.3. Определение требуемого и исходного количества светодиодных осветительных приборов для проведения каждого этапа анализа	56

2.1.4. Результаты применения метода предварительной экспресс-оценки эффективности светодиодных ламп и светильников.....	58
2.1.4.1. Результаты применения разработанного метода для сравнительной характеристики номенклатуры светильников разных фирм	58
2.1.4.2. Результаты применения разработанного метода для сравнительной характеристики офисных светодиодных светильников.....	64
2.2. Сравнение технических параметров светодиодных осветительных приборов с их критериальными значениями – второй этап анализа и контроля	70
2.2.1. Разработка методики определения критериальных значений параметров светодиодных осветительных приборов	70
2.2.2. Разработка методики оценки соответствия технических параметров светодиодных осветительных приборов критериальным значениям	78
2.3. Сравнительный анализ отобранных светильников на основе изучения их технических паспортов и дополнительной документации - третий этап анализа и контроля	80
2.3.1. Методика и контроль качества светодиодных светильников и ламп на основе прогностической оценки срока их службы	81
2.3.2. Вычисление дополнительных параметров офисных и промышленных светодиодных светильников ряда производителей	85
2.3.3. Сравнение заявленных и измеренных параметров светодиодных ламп.....	88
2.3.4. Методика и контроль качества светодиодных светильников и ламп по уровню унификации наименований параметров и последовательности представления их в перечне технических характеристик	92
Выводы ко второй главе	101

3. АНАЛИЗ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	103
3.1. Разработка методов, методик, измерительных установок и проведение экспериментальных исследований светодиодных осветительных приборов - четвертый этап анализа и контроля	103
3.1.1. Схема выполнения четвертого этапа анализа и контроля.....	103
3.1.2. Разработка измерительного стенда для проведения светотехнических исследований светодиодных осветительных приборов.....	104
3.1.3. Разработка метода определения спада светодиодных осветительных приборов и его метрологическое обеспечение	107
3.1.4. Определение уровня спада освещенности офисных и промышленных светильников мощностью до 170 Вт после их включения в разных условиях эксплуатации.....	113
3.1.5. Разработка устройства для экспресс-оценки угла рассеивания и построения КСС светодиодных ламп	115
3.1.6. Разработка установки и методики для экспресс-оценки цветовой температуры светодиодных ламп	119
3.1.7. Контроль температуры корпуса светодиодных ламп и светильников после их включения	123
3.1.8. Разработка двух термокамер для контроля параметров светодиодных ламп и светильников при повышенных температурах их эксплуатации	126
3.1.9. Сравнительная оценка коэффициента пульсации светодиодных ламп и светильников мощностью 0,5-170 Вт.....	129
3.1.10. Анализ требований к контролируемому коэффициенту мощности светодиодных ламп и светильников.....	132

3.1.11. Контроль качества конденсаторных светодиодных светильников мощностью до 170 Вт по структуре коэффициента мощности и устройству их конструкции.....	134
3.2. Завершающее испытание выборки светодиодного осветительного прибора - пятый этап анализа и контроля	138
Выводы к третьей главе	140
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИИ.....	142
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА	147
СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	150
ПРИЛОЖЕНИЯ 1 Наградные дипломы.....	164
ПРИЛОЖЕНИ 2 Справки о внедрениях.....	166

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

СОП - светодиодные осветительные приборы

СДЛ - светодиодные лампы

СДС - светодиодные светильники

СД - светодиоды

СДК - светодиодный кластер

СКО – среднее квадратическое отклонение

ВНИИОФИ – Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений

ВНИСИ - Всероссийский научный институт светотехнических измерений

ИЦ- испытательный центр

ЦСОТ НАН «Беларуси» – Центр Национальной академии наук Беларуси

КСС - кривая силы света

НТД - научно-технической документации

УФ - ультрафиолет

КИС - контрольно-испытательная станция

ТНД - total harmonic distortion

КЛЛ – компактная люминесцентная лампа

ВВЕДЕНИЕ

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время с целью обеспечения существенного энергосбережения, успешного внедрения, реализации большинство организаций и предприятий начинают все шире использовать светодиодные осветительные приборы – светильники, прожекторы и лампы мощностью от 5 до 300 Вт, обладающие высокой энергоэффективностью. Поиск и выбор наиболее энергосберегающих и качественных источников света с большим сроком службы является одной из важных и сложных задач современной светотехники и энергетики.

Светодиодные осветительные приборы по сравнению с другими источниками света, относимыми согласно постановлению правительства РФ № 602 и № 898 к энергоэффективным [71], позволяют снизить энергопотребление в несколько раз [3, 112, 114].

Для успешного внедрения, реализации светодиодных приборов и предотвращения поступления на рынок некачественной продукции необходимы методики и доступные средства ускоренного проведения контроля качества светильников и светодиодов на этапах их приобретения и последующей эксплуатации [77, 79].

Немалую роль при выборе светодиодных осветительных приборов играет рейтинг их производителей. В последние годы в журналах «Современная светотехника» и «Lumen&Expertertion» опубликованы рейтинги ряда типов светодиодных светильников и ламп разных фирм [33-34, 75-79, 109, 110]. Достоверность этих рейтингов в немалой степени снижается в силу использования разной балльной шкалы, отсутствия достаточного обоснования применяемой методики и ее низкой чувствительности. Все это заметно сказывается на качестве проводимых анализов, достоверности результатов и указывает на необходимость проведения дальнейшей разработки методик контроля качества изделий.

Таким образом, только комплексное решение целого ряда методических, технических задач и метрологическое их обеспечение может способствовать разработке и широкому внедрению энергоэффективных и качественных светодиодных осветительных приборов.

Объект исследования - светодиодные осветительные приборы – лампы и светильники мощностью от 0,5 до 170 Вт.

Предмет исследования – характеристики светодиодных осветительных приборов и установок.

Цель исследования – разработка метода и установок для многоэтапного комплексного контроля качества светодиодных осветительных приборов, предназначенных для малых предприятий, торговых сетей и организаций.

В соответствии с целью исследования были поставлены следующие **задачи**:

1. Разработать метод многоэтапного контроля и анализа качества светодиодных осветительных приборов.
2. Разработать методики контроля и анализа качества светодиодных осветительных приборов на основе результатов проведения исследований и осуществить их метрологическое обеспечение.
3. Разработать измерительный стенд и установки для экспресс-оценки основных параметров светодиодных осветительных приборов.

Научная новизна.

1. Впервые разработан метод многоэтапного комплексного анализа и контроля качества светодиодных осветительных приборов - светодиодных ламп и светильников, предназначенный для малых предприятий, торговых сетей и организаций.
2. Разработан ряд методик и установок, образующих измерительный комплекс, для экспресс-оценки качества светодиодных световых приборов на основе измерения их основных параметров: коэффициента спада

освещенности и погрешности его определения, угла излучения и кривой силы света, цветовой температуры, коэффициента предварительной оценки эффективности, структуры коэффициента мощности и других параметров.

3. Разработаны новые методы предварительной экспресс-оценки эффективности светодиодных осветительных приборов и измерения спада светового потока, а также критериальные значения базовых и дополнительных параметров для разных типов светодиодных светильников и ламп.

Практическая значимость.

1. Предложенные методики и установки для экспресс-оценки параметров светодиодных осветительных приборов в широком диапазоне изменения температуры окружающей среды и напряжения питания предназначены для малых предприятий, торговых сетей и широкого круга потребителей.

2. Разработанный метод многоэтапного комплексного контроля и анализа качества светодиодных осветительных приборов будет способствовать повышению уровня контроля их качества на этапах производства, реализации продукции и снижению ее стоимости.

3. Результаты диссертационной работы могут использоваться в учебном процессе в вузах при проведении занятий по светотехническим дисциплинам, читаемым по ряду соответствующим направлениям.

Методы исследования.

В работе использованы методы: фотометрический, термометрический, сравнения, вольтамперный, аппроксимации, экстраполяции и математической обработки данных. На основе этих методов и результатов исследований разработаны методики для проведения анализа и контроля качества параметров светодиодных ламп и светильников разного назначения.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Предложенный метод многоэтапного комплексного анализа и контроля качества светодиодных осветительных приборов создает научно-техническую основу для повышения качества выпускаемых светодиодных осветительных приборов.
2. Поэтапное применение предложенных методик и измерительных установок обеспечивает большую достоверность результатов контроля качества светодиодных осветительных приборов.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 6 работ в изданиях, входящих в Перечень ВАК. Получено 2 патента на полезные модели.

Личный вклад автора.

Разработка методов, методик, изготовление измерительных установок, проведение исследований, статистическая обработка полученных результатов и их анализ осуществлены аспирантом самостоятельно. Личный вклад автора составляет не менее 75 %.

Соответствие диссертации научной специальности.

Диссертация соответствует специальности 05.09.07 - светотехника п.6. «Разработка научных подходов, аппаратуры для контроля параметров источников света, световых приборов и осветительных установок».

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных результатов обеспечена большим объемом экспериментальных и теоретических исследований, проведенных с использованием усовершенствованных методик измерения и анализа параметров многих типов светодиодных светильников и ламп. Результаты измерений параметров светодиодных светильников и ламп разных производителей осуществлены с удовлетворительной погрешностью и имеют хорошую воспроизводимость. Полученные данные обработаны, проанализированы с помощью ряда

методов математической статистики и подтверждены получением двух патентов на полезную модель.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных и научно-технических конференциях:

IX, X и XIII Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» (г.Саранск, Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева, 2011, 2012, 2015); VIII-X Международных молодежных научных конференций студентов и аспирантов «Тинчуриные чтения» (г. Казань, КГЭУ, 2012-2015); VI Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный Форум» (г.Москва, 2014); 9-я Междун. научно-техн. конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы физики» (г.Саранск, МГПИ, 2015).

Материал диссертации доложен на III Всероссийском светотехническом форуме с Международным участием (г.Саранск, 2015), в ООО «ТД «Ферекс», ООО «Диодные технологии» (г.Казань), на расширенных заседаниях кафедр «Промышленная электроника и светотехника» КГЭУ (2015), «Светотехника» НИУ МЭИ (2016).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, содержащих выводы по главам, заключение, списка публикаций автора, цитируемой литературы и двух приложений. Она изложена на 168 страницах, включает в себя 22 таблицы и 15 рисунков. Библиографический указатель содержит 136 наименований использованной литературы, в том числе 24 на иностранных языках.

1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

1.1. Характеристика энергосберегающих возможностей светодиодных осветительных приборов и перспективы их применения

В табл. 1.1 на основе результатов анализа многих источников [7-9, 56-60, 81, 104, 125, 131, 132] обобщенно представлены приближенные значения светоотдачи светильников с использованием разных типов источников света. При систематизации все типы светильников по светоотдаче предусмотрительно подразделены на две группы: 1-ая – до 50 лм/Вт и 2-я выше 50 лм/Вт (табл. 1.1) по той причине, что согласно американскому стандарту Energy Star и требованию постановления Правительства РФ № 602 при проектировании осветительных систем светоотдача светильников должна быть не менее 50 лм/Вт [71]. Следовательно, светильники первой группы, за исключением ксеноновых ламп, не пригодны для современной практики. Согласно последнему Постановлению правительства РФ № 898 от 28.08. 2015 года предъявляются еще более жесткие требования к энергоэффективности вновь устанавливаемых светильников.

Энергоэффективность светодиодных светильников на сегодня уже не только соизмерима со светоотдачей металлогалогенных, натриевых ламп мощностью до 250 Вт, но и превосходит их. По одним данным теоретическое максимальное значение светоотдачи предположительно составляет 303 лм/Вт [62], а по другим «расчетным данным» [122] – лишь 254 лм/Вт. Эти сообщения являются единичными и остаются пока не подтвержденными другими исследователями.

Светодиодные лампы (СДЛ) и светильники (СДС) превосходят газоразрядные лампы также по сроку службы [11, 19, 30, 131]. Однако благодаря меньшей цене натриевых и металлогалогенных ламп им пока отдают предпочтение в коммунальном хозяйстве.

1.1. Светоотдача светильников с использованием светодиодов и разных типов ламп

№	Светильники с использованием ламп	Светоотдача, лм/Вт
Светильники со светоотдачей до 50 лм/Вт		
1	Накаливания (ЛОН)	8-10
2	Галогенной (КГ)	15-20
3	Ксеноновой	30-40
4	Компактной люминесцентной (КЛЛ)	50-60
5	Дуговой ртутной (ДРЛ)	35-50
Светильники со светоотдачей свыше 50 лм/Вт		
6	Линейной люминесцентной (ЛЛ)	70-80
7	Индукционной люминесцентной (ИЛЛ)	70-75
8	Светодиодной панели (СДП)	70-85
9	Светодиодной (СДС)	70-120
10	Металлогалогенной (ДРИ)	80-90
11	Натриевой (ДНаТ)	90-100
12	Серной	120-130

Примечание. В таблице верхние пределы значения светоотдачи справедливы для светильников мощностью 250 Вт.

В литературе не сообщаются, но согласно нашим вычислениям большинство светодиодных панелей при ряде их достоинств (плоская конструкция, равномерный свет) имеет светоотдачу на 20-30 % меньше обычных современных светодиодных светильников. Это обусловлено размещением светодиодов по торцам панели и соответственно многократным преломлением света с последующим его прохождением через множество отверстий в лицевой части панели.

В зависимости от решаемой задачи предъявляются разные требования к мощности проектируемых светильников и другим параметрам [2, 27, 96], уровень которого может удовлетворить не каждого пользователя. Как следует из [4, 73, 84, 87, 102] каждый тип светильника имеет свои значения предельной мощности.

Определенный недостаток светодиодных светильников заключается в том, что мощность их пока ограничена 200-300 Вт. Между тем, для освещения промышленных зон, стадионов и других подобных объектов имеется необходимость в применении приборов мощностью 400-600 Вт и

более. Поэтому натриевые и металлогалогенные лампы пока остаются незаменимыми при освещении улиц и автотрасс.

К мощным светильникам можно отнести лишь металлогалогенные и натриевые, применяемые для уличного освещения, и галогенные – для осветительных целей, в том числе в театрах. Разработка более мощных светодиодных светильников (до 300-400) пока удается только путем конструирования их из блоков, у которых при этом масса и световой поток значительно возрастают. Недостатком их остается также высокая цена.

В виде эксклюзивных светодиодных светильников появляются такие, которые имеют мощность 1500 Вт, предназначенных для аэропортов и стадионов. Сложность их эксплуатации заключается в том, что они могут не выдержать порывы ветра и могут быть разрушены.

Существенное преимущество светодиодных источников света заключается в однонаправленности их светового потока, то есть в возможности его излучения в одном направлении и в ограниченном угле.

Благодаря успехам в области физики и технологии полупроводников цена световых приборов и, в частности, светодиодных ламп, за последние 2 года существенно уменьшилась цена одного люмина (до 0,40-0,50 руб/лм) и лишь в 1,5 раза превышает люминесцентных ламп той же световой мощности [А14]. Объем производства световых приборов существенно растет с каждым годом, о чем свидетельствует график, представленный на рис.1.1 [56].

Выпускаемые светодиодные приборы – светильники оснащены электронным драйвером и в большинстве случаев имеют коэффициент мощности более 0,95 и удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 55705-2013 [26]. Вместе с тем, в отличие от светодиодных светильников, светодиодные лампы обладают меньшим коэффициентом мощности. Однако степень их соответствия ГОСТ 55705-2013 остается не изученным.

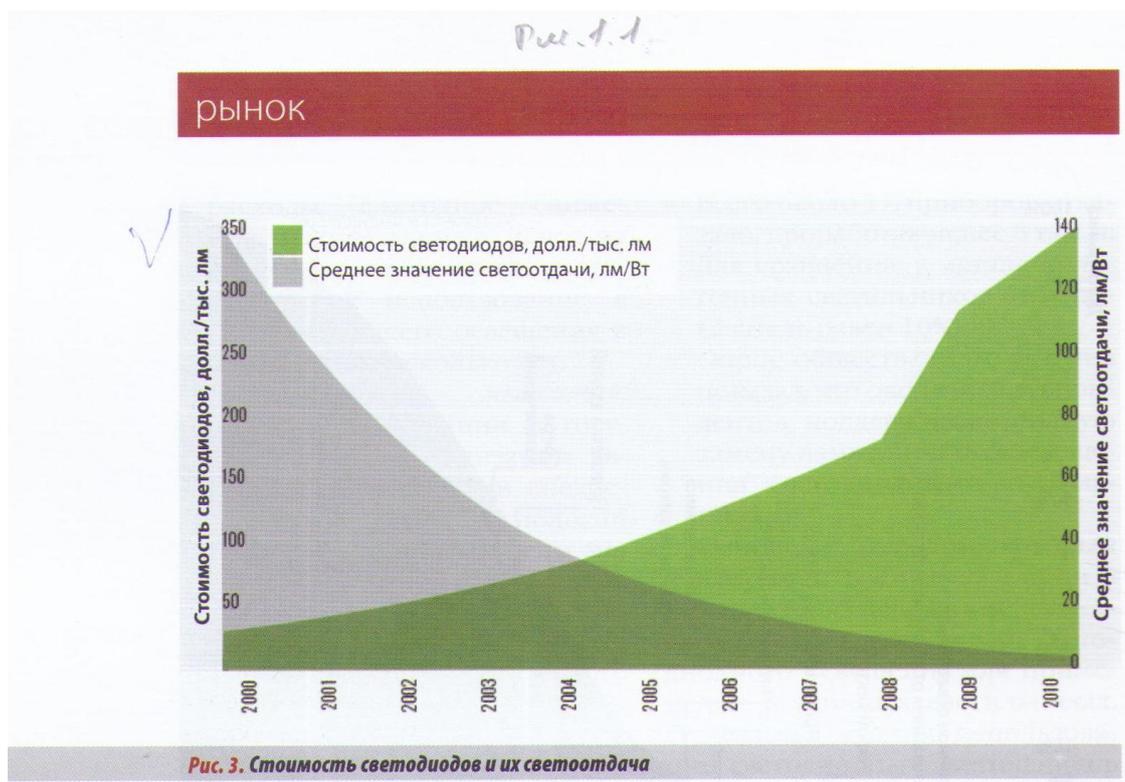


Рис. 1.1. Характер снижения стоимости светодиодов с годами

У светодиодных светильников коэффициент мощности близок к единице благодаря использованию в них корректора коэффициента мощности.

Использование светодиодных светильников, особенно с конденсаторными стабилизаторами [69, 103], дополнительно открывает энергосберегающее их свойство. Оно заключается в том, что электросети в большинстве случаев носят индуктивный характер, а светодиодные приборы особенно с конденсаторным стабилизатором – выраженный емкостной. Их применение ведет к уменьшению сдвига фазы тока и, соответственно, к увеличению эффективности эксплуатации генерирующих компаний за счет повышения пропускной способности электросети [97].

Основным препятствием на пути внедрения конденсаторных стабилизаторов является современные ГОСТ Р 55705-2013 [26] и [119],

поскольку в них заложено высокое требование к величине коэффициента мощности (λ) без учета характера реактивности нагрузок [94].

Таким образом, благодаря высокой светоотдаче светодиодных и осветительных приборов, их корректирующей функции фазы тока и конструктивных преимуществ, они должны найти более широкое применение.

1.2. Технический контроль качества изделий

и типы входного контроля

Контроль качества - это одна из основных функций процесса управления качеством. Назначение контроля заключается в том, чтобы вовремя выявлять ошибки для оперативного их устранения с минимальными производственными потерями.

В литературе имеются ряд определений понятия «контроль». В соответствии со стандартом ИСО 9000 1994 года контроль - это процесс, включающий проведение измерений, экспертизы на разных этапах испытания и оценку соответствия полученных результатов установленным требованиям.

Работы Шухарта, Доджа и Роминга послужили началом применения статистических методов в управлении качеством, которые впоследствии благодаря Демингу получили широкое распространение [40, 64].

Со временем термин «контроль» был перенесен на предупреждение причин дефектов и их устранения на стадии проектирования и разработок. При этом отбраковка сохраняется как один из важных приемов обеспечения надлежащего качества. Но основные усилия следует направлять на управление производственными процессами и обеспечение увеличения процента выхода годных изделий.

Внедрение концепции обеспечения качества в практику позволило значительно повысить эффективность производства при достаточно высоком качестве изделий и услуг, что создало условия для формирования глобального рынка товаров и услуг. Одновременно росло понимание того, что каждый производственный процесс имеет определенный предел выхода годных изделий, и этот предел определяется не процессом самим по себе, а всей совокупностью деятельности предприятия, организации труда и управления. Из этого следует, что контроль следует осуществлять относительно качества функционирования всей системы на всех стадиях ее испытания [21, 42].

Для решения проблемы, связанной с разработкой нормативов, необходимо выработать показатели качества контроля светодиодов и светильников, то есть выделить важные для потребителя параметры изделий.

Понятие качества продукции регламентировано в Российской Федерации также государственным стандартом ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения», согласно которому «качество - это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением». Если необходимо дать оценку качества продукции, то надо сравнить параметры этой продукции, используя научно-техническую документацию.

Немаловажным этапом обеспечения качества производства является наличие входного контроля комплектующих изделий. Согласно ГОСТ 24297-87 «Входной контроль продукции. Основные положения», под входным контролем понимают контроль качества продукции поставщика, поступившей к потребителю или заказчику и предназначенной для использования при изготовлении, ремонте или эксплуатации продукции [24].

Главными задачами входного контроля являются:

- оценка качества продукции, предъявляемой на контроль с достаточной достоверностью;
- взаимное признания поставщиком и потребителем результатов оценки качества продукции, осуществляемой по одним и тем же методикам контроля;
- выявление степени соответствия качества продукции выработанным требованиям с целью своевременного предъявления претензий поставщикам;

Входной контроль продукции может быть сплошным, выборочным или непрерывным. При сплошном контроле каждую единицу продукции в контролируемой партии подвергают контролю с целью выявления дефектных изделий [21, 42].

Сплошной контроль рекомендуется применять при штучном приобретении продукции и в тех случаях, когда он технически и экономически целесообразен. При сплошном контроле может предъявляться для проверки как полностью сформированная партия продукции, так и отдельные единицы продукции мелкосерийного производства.

Сплошной контроль осуществляется путем непрерывного контроля каждой единицы продукции в той последовательности, в которой она производится, до тех пор, пока не будет получено установленное планом контроля количество годных ее единиц. После этого переходят на выборочный контроль [21, 42].

При выборочном контроле из контролируемой партии продукции извлекаются случайным образом выборки (пробы), по результатам контроля которых принимается решение о качестве всей продукции. При выборочном контроле может предъявляться на контроль только полностью сформированная партия продукции. Не допускается производить отбор выборок или проб до тех пор, пока не будет предъявлена полностью сформированная партия продукции [19, 21, 42].

К входному контролю потребителя должна предъявляться продукция поставщика, поступившая с сопроводительной документацией, оформленной в установленном порядке. При отсутствии сопроводительной документации, удостоверяющей качество и комплектность продукции (особенно импортной), когда нужды производства диктуют необходимость использования этой продукции, то использование ее в производстве возможно после проведения испытаний на соответствие отечественной НТД (научно-технической документации) с обязательным составлением акта о ее фактическом качестве.

Входной контроль может быть проведен в любой момент времени от до запуска ее в эксплуатацию до получения потребителем продукции. Продукция, срок хранения которой истек, независимо от результатов ее предыдущего контроля или испытаний при входном контроле, подлежит перепроверке, и только после этого может быть решен вопрос о ее использовании в производстве [21, 42].

Исходя из цели входного контроля, потребитель может проводить его непосредственно перед запуском продукции в производство (в пределах гарантийного срока) и только по тем пунктам требований НТД, которые имеют значение для конкретного вида продукции и которые отражены в «Перечне входного контроля» на нее. Кроме того, в «Перечне» целесообразно указать минимально допустимую оставшуюся на момент проведения входного контроля часть гарантийного срока хранения контролируемой продукции, определяемую исходя из длительности цикла изготовления продукции.

Входной контроль рекомендуется проводить по параметрам (требованиям), установленным в НТД на контролируемую продукцию. Входной контроль продукции по параметрам, не установленным в НТД, договорах или контрактах на поставку, может проводиться потребителем без согласования с поставщиком для своих внутренних целей.

Контролируемые параметры и планы контроля рекомендуется производителю устанавливать в перечне продукции, подлежащей выходному контролю. Перечень продукции, подлежащий входному контролю, можно отнести к нормативным общетехническим документам, не относящимся ни к одной из существующих систем документации.

Входной контроль комплектующих является весьма трудоемким и дорогостоящим и в определенной степени дублирует технический контроль продукции на выпускающей фирме [21, 42]. В связи с этим актуальнее становится отказ от входного контроля за счет усиления производственного контроля, но это приемлемо лишь при налаживании доверительных отношений с поставщиком. За рубежом практика таких отношений существует давно.

По действующей видовой классификации контроль качества подразделяется по целому ряду признаков: по полноте охвата, по степени использования средств контроля, по связи с объектом контроля.

1.3. Основные контролируемые параметры светодиодных осветительных приборов

В работе [61] приведен перечень, включающий в себя до 70 параметров, которыми могут характеризоваться СД. Практическую же значимость для исследователей могут иметь 20-30 параметров, включая и те, которые отсутствуют в указанном перечне [39, 40].

Прежде всего, контролю должны быть подвергнуты те параметры, которые производитель СОП указывает в техническом паспорте или на его упаковке. На сегодня потребителю предъявляется порядка 10 параметров, количество которых многих потребителей пока удовлетворяет. Для оценки значимости и значения каждого параметра необходима разработка нормативных их значений с ежегодным внесением соответствующих корректив. На данном этапе становления СОП

целесообразно разработать критериальные их значения и временно ими руководствоваться.

Вопрос анализа и контроля потребителями качества светодиодных светильников, выпускаемых разными производителями является достаточно актуальным [10, 31, 48, 49, 54, 55]. В силу высокой цены светодиодных светильников потребители и дилеры нередко склоняются к приобретению более дешевых изделий, в то время как их качество имеет важное значение в процессе их эксплуатации. Это вызвано тем, что потребитель не в состоянии оценить другие параметры при соизмеримых значениях.

Задача оперативного выбора светодиодного светильника (СДС), удовлетворяющего целому ряду требований потребителя, является достаточно сложной. По причине отсутствия определенных методических рекомендаций она мало разрешима даже высококвалифицированным специалистам. Проблема измерения разных светотехнических параметров в целом на сегодня решена, однако критерии и методы направленные на выяснение качества и рейтинга уже готовых изделий остаются далеко не разработанными [3, 31, 38, 51].

В данном разделе рассмотрим кратко основные параметры, которые в настоящее время широко применяются, а также некоторые дополнительные производные параметры, которые могут быть использованы в качестве информативных при комплексном или многоэтапном контроле качества СОП.

1. Световой поток. В отдельных каталогах СДС разработчики приводят значение светового потока светодиодов, а не самого светильника. Такое представление технических характеристик СДС 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 СДС. Световой поток, тот базовый параметр, который необходим для вычисления освещенности объектов.

В литературе конкретное время начала измерений светового потока лампы не приводится, что является источником разночтения данных и ошибочных результатов вычисления ее светоотдачи. Поэтому для устранения этого недостатка в технических характеристиках следует приводить световой поток через определенное время стабилизации после подачи питания.

2. Светоотдача. Данный параметр является одним из важных, поскольку он характеризует световую эффективность светильника. Несмотря на это, большинство фирм в своих каталогах его не приводят. На сегодня к хорошим светильникам могут быть отнесены такие, которые имеют светоотдачу на уровне 100-120 лм/Вт. Вместе с тем, у многих серийных светильников она продолжает оставаться на уровне 75-85 лм/Вт. По одним единичным источникам предельное теоретическое значение равно 303 лм/Вт [62], а по другим – 252 лм/Вт [122].

3. Коррелированная цветовая температура. Зачастую данный параметр именуют коротко «цветовая температура». Ее обычно выбирают в диапазоне от 2700 до 4500К в зависимости от предпочтения потребителя. Ранее в письме Главного санитарного врача РФ Г. Онищенко было рекомендовано учебным заведениям применять светильники с цветовой температурой не более 4000 К. Большинство светодиодных ламп выпускают с цветовой температурой не более 4500 К, а светодиодные светильники не более 5000 К.

4. Индекс цветопередачи. Данный параметр характеризует точность передачи цветов объекта. Обычно светильник с индексом цветопередачи 80 и более относят к хорошим. Производители ограничивают указанием, что индекс цветопередачи источника более 80 без детализации его значения. Потребитель доверяется тем значениям, которые приводит производитель.

5. Коэффициент пульсации освещенности. Согласно санитарным правилам и нормам коэффициент пульсации в зависимости от

предназначения помещения не должен превышать 10, 15 и 20 %. Коэффициент пульсации ($K_{п}$). Данный параметр при освещении люминесцентными лампами с электромагнитными пуско-регулирующим аппаратом имеет значения 30 или 60 % в зависимости от люминофора. Большинство светодиодных светильников и ламп не сегодня обеспечивают $K_{п}$ не более 1 %, то есть они удовлетворяют самым жестким требованиям.

б. Срок службы светодиодных светильников, приводимый в технических документах, является также важным параметром, поскольку он определяет экономическую целесообразность их приобретения и эксплуатации. Большинство разработчиков светодиодных светильников и светодиодных ламп за срок службы принимают период времени, по истечении которого их световой поток уменьшается на 30% [2, 88]. Это отчасти обусловлено тем, что при проведении расчета светотехнических систем коэффициент запаса по световому потоку выбирают в среднем равным 1,3.

Поскольку физический срок службы СДС 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 больше 1,3, например, равным 1,4-1,5. Это в определенной степени имеет смысл, так как интенсивное снижение светового потока происходит в первый период эксплуатации СДС, который составляет порядка 3000-5000 часов.

Большинство потребителей при приобретении светильников полагается на срок службы, который декларируют их производители [130]. Вместе с тем, нередко приходится усомниться в этих данных, поскольку срок службы СДС и СДЛ обычно определяется лишь на основе прогностических данных срока службы светодиодов. Следует отметить, что СД является лишь одним из комплектующих элементов, определяющих срок службы светильников.

Поскольку большинство пользователей не регистрируют значение светового потока СДС на самом начальном этапе его эксплуатации, то судить о соответствии светильника техническому паспорту по истечении 2-3 лет практически невозможно.

Осуществить приборную оценку уровня снижения светового потока СДС до предельно допустимого значения разработчиками и потребителями возможно при выполнении следующих условий: наличии измерителя светового потока - гониофотометра или освещенности – люксметра; знания значения исходной освещенности на оптической оси; достаточной светотехнической подготовки и владении методикой проведения светотехнических измерений. При всем этом для проведения испытаний СДС разработчиком или входного контроля потребителем в соответствии с американским техническим регламентом LM-79 [35] требуется период времени до одного года. По истечении такого времени производитель готовит выпуск уже новой его модели, который естественно может иметь другой срок службы и другие параметры. Поэтому производитель не только не знает реальные сроки службы производимых светильников, но и особо не несет ответственность. Поэтому большинству потребителей просто приходится довольствоваться заявляемыми производителями сроками службы приобретаемых СДС и СДЛ.

Как прогнозировать срок службы светильников, если в литературе практически отсутствуют также сведения о реальных сроках службы типов заявляемых драйверов?

Обсуждению повышения срока службы СДС посвящено ряд сообщений за последние 2-3 года [4, 5, 14, 16, 31, 32, 35, 80], но они носят общий характер. Все эти сообщения практически и не базируются на результатах экспериментов.

7. Спад светового потока. Очевидно, для объективной оценки момента стабилизации следует контролировать не столько температуру лампы,

сколько ее световой поток. К сожалению, данный важный в метрологическом отношении параметр производителя СОП пока в технических характеристиках не приводят. Необходимо оценивать не только время стабилизации и спад светового потока после включения лампы, но и допускаемую при этом погрешность завышения измеряемого светового потока, ибо точность определения величины спада будет зависеть от точности начала и конца отсчета показаний освещенности. При использовании существующих типов люксметров измерения показаний освещенности ранее 3 с невозможно выполнить, так как в момент включения прибора или подачи большого светового потока имеет место переходной процесс. Данную деталь эксперимента следует начать учитывать.

Спад светового потока можно рассматривать в качестве одного из важных характеристик светильника, так как он позволяет проанализировать конструкцию и прогнозировать срок службы. При этом пока в литературе отсутствуют как средние значения спада светового потока, так и сравнительная их оценка.

В проекте Европейского стандарта за момент отсчета светового потока для каждого типа светильников предлагается выбирать время, по истечении которого изменение наибольшей температуры его корпуса не превышает некоторой абсолютной величины. В ГОСТ НИИИС конкретно оговаривается, что снижение температуры корпуса за последующий час должен быть не более 1°C . Следует иметь в виду, что эта величина будет зависеть от места измерения температуры и абсолютной ее величины. Поскольку абсолютная температура разных ламп неодинакова, то время стабилизации режима работы СДС будет разным и поэтому ее оценка должна осуществляться по обеспечиваемой освещенности.

В ГОСТ Р ВНИСИ предложено оценивать как величину спада, так и время стабилизации светового потока. При этом для определения времени стабилизации светового потока предложено измерять уровень освещенности

трижды через каждые 5-15 минут до тех пор, пока уровень снижения освещенности за данный интервал времени не будут менее 1%. Эта методика также является несовершенной, так как результат во многом зависит от выбранного временного интервала (5, 10 или 15 мин). Следует иметь в виду что за последующий 1 ч снижение освещенности может дополнительно составить порядка 1,5-2 %. Исходя из этого обоснования имеется необходимость повышения точности методики определения спада освещенности и времени ее стабилизации. Кроме сказанного, определенную погрешность в пределах 1% вносит выбор временного момента измерения начальной освещенности.

8. Температура корпуса светильников. Температура наиболее нагретых участков корпуса светодиодных светильников, электродвигателей, тепловых радиаторов и других устройств является достаточно информативным показателем, который может быть использован для оперативного контроля их технического состояния и прогнозирования такого важного параметра, как срок службы.

Измерение температуры поверхности тел разных устройств в условиях специализированных лабораторий обычно осуществляется при проведении исследований с использованием электротермометров, термоэлектрических, ИК-термометров и пирометров [9, 13, 44-46]. Однако, в условиях промышленных выставок, специализированных магазинов, фирм-производителей и в процессе эксплуатации разных устройств имеется необходимость в применении простейшего и ускоренного способа оценки их поверхностной температуры в пределах 40-60 °С [86, 113]. При этом нередко достаточно получить лишь приближенное представление о температуре наиболее нагретых их участков, то есть со сравнительно невысокой точностью для принятия технического решения.

В связи с этим наряду с приборными методами нужен простой способ оперативного определения температуры корпуса нагретых тел, например, на основе терморцепции кожного покрова оператора.

9. Удельная масса. Более полную информацию может представить среднее значение удельной массы светильников с учетом их назначения, которое по мере формирования базы данных можно будет принять за критериальное значение. За последние годы достигнут большой прогресс в вопросе повышения светоотдачи светильников и снижения их массы. В 2010 году Ю.Трофимовым было предложено в качестве одного из показателей светильников использовать его удельную массу, приняв за верхнее допустимое значение величину, равную 0,1 кг/Вт [90]. В последующие годы этим параметром воспользовались только в [A14, 17, 103].

Значение удельной массы позволяет судить о степени оптимальности конструкции радиатора и прогнозировать степень отклонения срока службы от заявленных значений [52].

Представляет интерес определение характера зависимости удельной массы γ_m офисных и промышленных светильников от их потребляемой мощности, а также средние их значения. Целесообразно продолжить уточнение значения удельной массы, которое можно было бы принять в дальнейшей работе за критериальные значения.

10. Срок службы драйвера светильника. Одним из немаловажных блоков СДС является электронный источник питания светодиодов – драйвер. Просмотр многих публикаций и нескольких десятков каталогов не позволяет обнаружить сведения о сроке службы драйвера, хотя он во многих случаях может определять срок службы СОП. 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 СДС и потребителя – срока их службы [36, 76, 85].

11. Угол рассеивания. В последние годы все больше фирм приводят в технических характеристиках СОП значения угла рассеивания. Обычно у светодиодных ламп он имеет значения более 180 градусов, а у светодиодных светильников многие разработчики ограничиваются лишь указанием типа их КСС. Поскольку приводимые значения угла рассеивания более 300 градусов, то для устранения неопределенности следовало одновременно приводить относительные значения силы света, при которых измерен угол рассеивания. Этот параметр имеет важное значение так как он позволяет провести оценочный расчет освещенности, которую обеспечивает световой поток используемой лампы.

12. Частота напряжения. Немало фирм в каталогах приводят значение частоты напряжения электросети 50-60 Гц. Имеются случаи, когда значение нижней частоты указывается равным 47 Гц. Следует отметить, что частота питающего напряжения в России равна только 50 Гц, причем согласно требованиям ГОСТ Р 54149-2010 ее отклонение от номинала в течение одной недели не допускается более, чем на $\pm 0,2$ Гц. Исходя из этого отсутствует целесообразность приводить в каталогах значение частоты питающего напряжения.

13. Явление деградации светильника. Одним из важных параметров, характеризующих лампу, является световой поток, снижение которого в период длительной эксплуатации может быть выявлен через определенный промежуток времени [5, 14, 30, 32, 35, 123].

14. Унификация используемых терминов. Не всегда остается ясным даже специалисту что подразумевают авторы под тем или иным наименованием [92, 98]. Для обозначения даже основных параметров СОП в технической документации применяются до 10 наименований для каждого параметра. Другим недостатком является отсутствие системного

представления перечня параметров. В результате этого из поля зрения потребителя нередко при быстром ознакомлении могут выпадать те или иные важные показатели [98]. Все это нередко препятствует оперативному получению объективного представления о качестве изделий на первом этапе ознакомления с их характеристиками.

1.4. Методы и средства контроля параметров светодиодных осветительных приборов на этапе их производства и реализации

Контроль на этапе производства. Все светодиодные производства осуществляет разные виды контроля. Однако результаты контроля, глубины контроля и используемых методик, как правило, остаются конфиденциальными и не находят освещения в литературе.

Из общения с представителями ряда крупных фирм (ООО «Фокус», «ТД Ферекс» и др.) следует, что специального контроля комплектующих СОП: радиаторов, оптики, термопроводящего клея, светодиодов на соответствие паспортным данным практически не проводится. Осуществляют выборочный контроль отдельных параметров светильников, а сплошной контроль проводится - только на работоспособность светильников при их циклическом включении на протяжении определенного этапа времени в соответствии с нормативным документом.

Это обусловлено тем, что ведущие фирмы Российской Федерации предпочитают сотрудничать с известными мировыми производителями светодиодов (Nichia, Cree, Osram, Seoul Semiconductor) и оптики (Lidel), что позволяет им не проводить входной контроль основных комплектующих: светодиодов (СД), оптики и драйвера.

Производители светодиодных ламп (СДЛ) и светодиодных светильников (СДС) в технических паспортах обычно приводят до 8-12 параметров, перечень которых несколько отличается. Еще 2-3 года тому назад немало известных фирм значение светового потока СДС приводило на

основе простого умножения количества светильников на величину светового потока светодиода, то есть без учета потерь в драйвере и оптической системе. При этом в ряде случаев ошибка в оценке светового потока была обусловлена тем, что значение светового потока приводилось при температуре *p-n* перехода, равной температуре окружающей среды (25°C), а не рабочей. Все это связано с тем, что лаборатории многих небольших фирм не обладают соответствующей измерительной техникой (гониофотометрами, фотометрическим шаром диаметром до 2-3 м и спектроколориметром) в силу их дороговизны. Кроме того, фирмы нередко на сертификацию представляют лучшие светильники из выпущенной партии. Поэтому имеется большая необходимость потребителю осуществлять собственный контроль качества СОП, глубина которой должна определяться объемом закупаемой партии.

В работах [77-79, А1] показано, что ряд заявленных параметров светодиодных ламп и светодиодных светильников их изготовителями отличаются от результатов, измеренных в испытательных сертифицированных лабораториях.

В резолюции Форума по нормам и стандартам сказано о необходимости внедрения единой и объективной системы контроля параметров изделий в независимых лабораториях как обязательной процедуры для участия в госзакупках, что позволит отсеять недоброкачественных поставщиков [105]. Следует отметить, что для реализации поставленной задачи необходимо провести большую методическую и метрологическую работу [27-29, 56, 100, 105].

Все это указывает на необходимость входного контроля СДЛ и СДС на этапе приобретения пользователем и на необходимость разработки доступных методов контроля, простых установок и оснащения ими малых предприятий.

Входной контроль на этапе реализации и приобретения. В последние десятилетия сложилась такая практика, когда большие и средние

производители СДС осуществляют их реализацию через обширную сеть дилеров, расположенных в разных городах. Измерительные устройства и квалификация дилеров и торговых сетей пока не позволяют проводить собственный входной контроль СДС. Это в определенной степени может сказаться на снижении бренда, как производителя, так и дилеров.

Сотрудники дилерской сети не осознают всю важность проведения собственного входного контроля, доверяясь полностью информации, предоставляемой разработчиками изделий. Уровень контроля может быть самым разным, исходя из технических, финансовых возможностей предприятия и уровня имеющейся квалификации его сотрудников. Элементарный предварительный контроль даже по 2-3 параметрам позволяет оперативно выявить различие между продукцией разных фирм.

У потребителей, также как и у дилеров, также отсутствуют аппаратура и методики оперативного контроля качества СДС. Однако эта проблема в определенной степени вполне решаема.

Для определения светового потока, коэффициентов пульсации, мощности, потребляемой мощности, коэффициента мощности и температуры корпуса СОП необходимо всего 4 прибора: люксметр-пульсметр, измерителей активной мощности и фазового сдвига тока ($\cos\phi$) и термоэлектрического электротермометра. Стоимость двух последних приборов составляет не более 1,0-1,5 тысяч рублей по ценам 2015 года. Дополнительно можно изготовить минитермокамеру для определения степени отклонения ряда параметров ламп при повышении температуры до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это свидетельствует о том, что малые и средние разработчики, дилеры и потребители вполне могут иметь в своем распоряжении небольшие измерительные лаборатории или воспользоваться услугами специализированных испытательных лабораторий, в том числе лабораториями учебных центров вузов.

Средства контроля осветительных приборов

Имеющиеся проколы испытаний светильников трех фирм (ВНИСИ, ЦСОТ НАН Беларуси и Cree) позволяет рассмотреть уровень оснащения их лабораторий и дать сравнительную оценку проводимых испытаний. Наиболее подробная информация в литературе [27] представлена о Всероссийском научно-исследовательском институте светотехнических измерений (ВНИСИ)..

Приведем общую характеристику ИЦ ВНИСИ. Оборудование ИЦ ВНИСИ проходит ежегодную проверку в ФГУ РОСТЕСТ и ВНИИОФИ [13, 27, 28]. В спектрофотометрической лаборатории ИЦ ВНИСИ находится оборудование и измерительные приборы, позволяющие проводить широкий спектр фотометрических и колориметрических измерений. Лаборатория располагает двумя темными комнатами, фотометрическими шарами размером 0,5-2,0 м и фотометрическими скамьями, гониофотометрами трех типов, светоизмерительными лампами типа СИС и СИП, стабилизированными источниками переменного и постоянного напряжения, различными измерительными приборами и инструментами (спектроколориметр, люксометры, пульсметр, УФ-радиометр, мультиметры, ваттметры и др.) [12, 13].

Заслуживает интерес высокоточный гониофотометр RIGO-801 производства компании Techno Team (Германия). Он предназначен для проведения точных фотометрических измерений светового потока и кривых силы света (КСС) световых приборов размером до 1,8 м в автоматическом режиме. **Погрешность измерений светового потока составляет не более $\pm 5\%$, а силы света – не более $\pm 6\%$.**

Процесс измерений автоматизирован и управляется с компьютера с помощью специального программного обеспечения. Результаты измерений записываются на жесткий диск компьютера и после их обработки в

компьютере могут быть представлены в виде пространственного фотометрического тела в системе координат (C, γ) .

В случае светодиодных светильников величина спада светового потока за время разгорания позволяет косвенно судить о температурном режиме светильника и, как следствие, о его сроке службы [4, 22, 23, 32, 40, 89].

Контрольно-испытательная станция (КИС) ВНИСИ и НИИИС. Она обеспечивает проверку стойкости и прочности изделий к воздействию внешних климатических и механических факторов, в том числе проверку на пыле- и влагозащищенность, на вибро- и ударопрочность, испытания на повышенную и пониженную температуру в соответствии с ГОСТ 17516.1-90, ГОСТ 16962.1-89, ГОСТ Р МЭК 60598-1-2003 и т.д. Специальное оборудование позволяет также осуществлять тестирование электрических параметров (электрическую прочность изоляции, сопротивление изоляции и т.д.) и степень защиты (IP) оболочек светильников [1, 12].

Испытательная лаборатория фирмы Cree. В процессе испытания светодиодных светильников в данной лаборатории применяют до 18 приборов, перечень которых приводится в протоколе. К основным из них можно отнести двухпозиционную интегрирующую сферу CSLMC, 250 мм интегрирующую сферу ISP250-110, спектрометр для исследования СД (2 см сфера) MC-9801:3683 и инфракрасную камеру T300.

Испытательная лаборатория НИИИС успешно проводит экспертизы СОП. О важности таких лабораторий излагается в [1, 28].

Испытательная лаборатория «ЦСОТ НАН Беларуси». Данная испытательная лаборатория в работе использует гониофотометр SMS 10с, спектрометрический комплекс модели DTS 320-21, прецизионный источник питания Agile 6812В. Для контроля влажности и давления применяют соответственно термогигрометр ИВА-6Б и зонд давления Leica DISTOD5.

Сравнительный анализ рассмотренных протоколов ряда фирм

Наиболее подробные сведения об используемых приборах, методиках и полученных результатах приводит фирма Cree. Она раскрывает подходы, приемы и уровень организации проведения испытаний в американской фирме. Лаборатория не ограничилась испытанием только светильника, но одновременно провели ряд измерений непосредственно и светодиодов, что позволило ей лучше оценить качество его проектирования.

Общим недостатком проанализированных протоколов испытания является представление ряда результатов с избыточной точностью - на один-два порядка выше, чем точность используемых методик измерения. Так, световой поток представлен с точностью до 1 лм, цветовая температура – до 1-10 К, потребляемая мощность – до 0,1 Вт, коэффициент мощности – до 0,001, а температура – до 0,1 °С. Поскольку условия испытания не предусматривают термостатирование, то обеспечить последний параметр, например, в течение 6 часов испытания, с приводимой точностью представляется невозможным. Очевидно, прогрев измерительной аппаратуры и светильника и нахождение самого оператора в изолированном помещении не может не сказаться на изменении температуры окружающей среды.

1.5. Подходы к определению рейтинга светодиодных осветительных приборов

В последние годы в литературе опубликованы результаты нескольких первых рейтингов светодиодных осветительных приборов разного предназначения [33, 34, 38, 72, 74-77, 126]. В процессе их проведения осуществлялось некоторое изменение подходов к их проведению. Вначале пытались учитывать весовую значимость параметров. Однако вскоре убедились в несовершенстве получаемой оценки и отказались от нее.

Недостаток применяемых разновидностей методики оценки качества светильников заключается в том, что параметры с разной значимостью

оцениваются по одной и той же балльной шкале с привлечением экспертов с разным уровнем индивидуального восприятия и подготовки в области светодиодной техники [65, 66]. В одних работах балльность шкалы выбрана равной 5 [74], во вторых 11 [78], а в третьих – даже 17 [77], причем привязав при этом их значения в основном к количеству испытываемых источников света без обоснования его целесообразности. Это ведет к разномасштабности представления в последующем результатов и к невозможности их обобщения.

Кроме того, анализ параметров осуществляется без достаточного учета размаха их значений, в то время как кратность малоинформативных параметров нередко изменяется в больших пределах, достигая 3, а отдельных случаях еще больше. Например, кратность коэффициента пульсации достигает 30-40 [78].

Следует отметить, что случайные ошибки, допускаемые экспертами при принятой балльной системе, могут в одних случаях складываться, а в других случаях, наоборот, вычитаться, соответственно существенно влияя на значение итогового балла. Так, имеется высокая вероятность допущения экспертами ошибки проводимой оценки всего на один балл. В результате при анализе 10 параметров светильника и при 10-балльной шкале в некоторых случаях ошибка определения итогового балла составит 10 единиц или $\pm 10-15$ %.

Значение балла варьирует также в зависимости от точности измерения, обеспечиваемой испытательной лабораторией и точности представления исходных и не тестируемых параметров. Так, например, фирма «Ньюлайт» указала гарантийный срок равным 5 лет, а на своем сайте его приводит равным только 4 годам. По этим многим причинам погрешность определения итогового балла продолжает оставаться высокой, что заметно снижает объективность и значимость определения рейтинга. На перечисленные возможные недостатки использованной методики было обращено внимание

редакции журнала «Современная светотехника» Тукшаитовым Р.Х. еще до начала ее применения и на самом первом этапе [74, 75, 93].

При ознакомлении с публикуемыми в литературе итогами рейтинга недостаточно подготовленными специалистами и потребителями, ценность светильника психологически воспринимается по его месту в представляемой последовательности. Вместе с тем, даже первые и вторые места занятые светильниками, являются в немалой степени приближенными в силу сравнительно большой погрешности используемой методики и ограниченного при этом количества учитываемых параметров [А6].

Так, дополнительный учет влияния еще одного параметра, особенно без его экспериментальной проверки, например, срока службы или ремонтпригодности может светильник легко переместить с первого места на второе и даже более низкое место. С другой стороны, значительное увеличение количества учитываемых параметров влечет за собой снижение достоверности итоговой оценки в баллах. Поэтому оценка качества светильников должна осуществляться не простым суммированием абсолютных значений баллов, а по более сложной методике определения их качества. Вопрос привлечения экспертов и обеспечения качества экспертной оценки изделий остается достаточно сложным. Все это требует дальнейшего совершенствования методик их проведения.

В работе [77], очевидно перед экспертами на первом этапе возникал вопрос, каким образом дифференцировать светильники на группы, поскольку значения их мощности изменяются в широких пределах. В итоге к первой группе отнесены светильники с мощностью от 40 до 133 Вт, а ко второй – от 129 до 219 Вт. Во вторую группу вместо первой, очевидно, ошибочно внесен светильник «Связьинвест» с мощностью 129 Вт. Если его разместить в первой группе в соответствии с выбранным диапазоном, то он со второго места переместится на последнее. Если бы, светильник «Ферекс» разместили во вторую группу в соответствии с его реальной мощностью, то он с пятого

места переместился бы на первое. Отсюда следует, что даже небольшая «ошибка» аналитической группы, допущенная при обработке данных, может существенно сказаться на итогах проводимого рейтинга.

Второй цикл конкурса светильников и определения их рейтинга был продолжен автором идее В.Манушкиным в 2012-2015 годах уже в журнале «Lumen&Expertion». Он был проведен также путем сравнения заявленных и измеренных значений СОП и привлечением для окончательной оценки экспертов. Последнее должно вести к снижению объективности результатов, так как каждый эксперт в лице директора или исполнителя светотехнических малых предприятий с небольшим сроком существования может дать недостаточно правильную оценку. Поэтому должна быть разработана такая методика оценки качества СОП, которая не требовала привлечения экспертов. В этом году данный журнал запланировал проведение нового конкурса, несколько изменив лишь схему его проведения.

После многих лет проведения рейтингов Президент ассоциации «Российский свет» В.В.Литюшкин обратился к заместителю Председателя Правительства Российской Федерации А.В.Дворковичу с письмом, в котором он излагая свое видение предполагает, что **только к 2018 году будут разработаны критерии и механизмы оценки и контроля достоверности характеристик осветительных устройств** [51]. Речь здесь идет не о обеспечиваемой точности измерения параметров светильников в аккредитованных измерительных лабораториях, а об отсутствии методик, позволяющих достоверно комплексно оценить качество изделий. Все это указывает на серьезность поднимаемой проблемы и отсутствие необходимой методической и методологической базы для проведения разных конкурсов по выявлению наиболее качественной продукции.

В первой половине 2015 года под эгидой Минэнерго объявлен конкурс на Евразийскую светотехническую продукцию [70]. Цель конкурса выявить лучшие энергоэффективные источники света, лучших производителей,

поддерживать высокие стандарты качества продукции. Учредители формируют Оргкомитет, а последний создает Жюри конкурса и комитет по испытаниям. Жюри формируется из числа представителей организаций экспертов и представителей рынка. Решение должно приниматься «абсолютным большинством», что также является источником субъективизма.

Одним из важных этапов конкурса является закупка контрольных образцов и проведение их испытаний. Планируется закупка как у дилеров, так и непосредственно у производителей. Такой подход уже на начальном этапе может внести некоторое различие между фирмами, поскольку при этом может характеризоваться не столько светильник, сколько разброс в параметрах продукции поставляемой производителями дилерам. Для избежания этого необходимо предварительно разработать унифицированную методику закупки каждого типа светильника.

Световой поток светильников для освещения общественных зданий может отличаться в 2 раза, светильники для ЖКХ даже в 3 раза. При таком большом диапазоне сопоставить светильники с достаточной достоверностью будет сложнее.

Параметры светильников измеряются в специализированных Испытательных центрах и поэтому особых проблем паспортизации СОП не будет. Главный и самый сложный завершающий этап, заключающийся в оценке качества многочисленных изделий на основе представленного большого массива числовых данных, имеющие противоположные и небольшие отклонения относительно желаемых. Сложность поставленной задачи заключается в необходимости разработки приемов перехода от отдельной оценки каждого параметра к интегральной их оценке [100].

В связи с изложенным, для повышения достоверности проводимой экспертизы необходимо разработать новый подход к комплексному определению рейтинга светильников на основе их многоэтапного анализа.

1.6. Состояние контроля и типы бездрайверных осветительных приборов

К настоящему времени предложено 4 типа бездрайверных ламп и светильников. В первом типе ламп СД питаются непосредственно от сети либо по однопериодной, либо по двухпериодной схеме, во втором типе используются конденсаторные стабилизаторы. При этом электроника приближена непосредственно к печатной светодиодной плате. Это направление начало развивать Южнокорейская фирма Seoul semiconductor [69]. В третьем типе ламп питание СД осуществляется от электронного ключа (рис. 1.2).

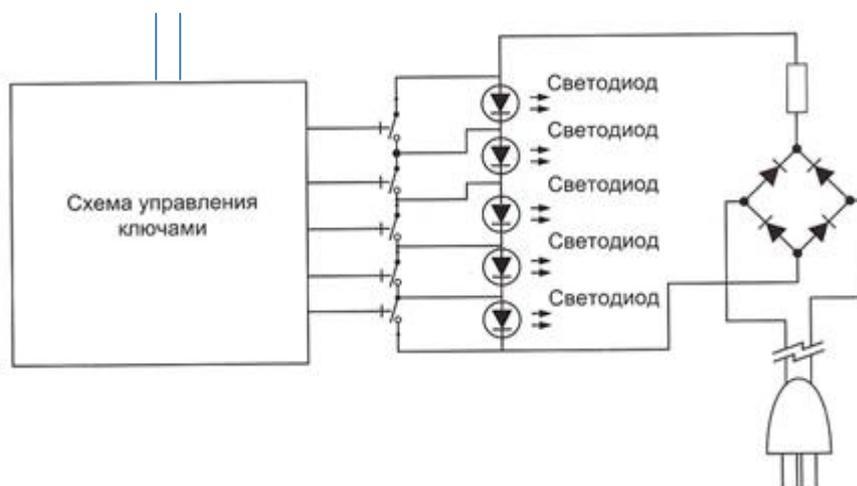


Рис. 1.2. Схема бездрайверного светильника с управляемыми ключами

В последнее время описана более усовершенствованная схема (рис. 1.3), позволяющая уменьшить пульсации освещенности и увеличить коэффициент мощности [69].

За счет соответствующего схемного решения часть светодиодов питается в каждый полупериод, а меньшая часть - в один полупериод, но со сдвигом фазы тока. Это позволяет существенно снизить пульсации света. Сведения о таких светильниках ограничены.

Остается неясным, какой конкретно уровень пульсации обеспечивают такие светильники, и какой мощности они могут быть изготовлены.

Сравнительно широкое применение находят бездрайверные светодиодные лампы мощностью до 5-6 Вт на основе конденсаторного стабилизатора.

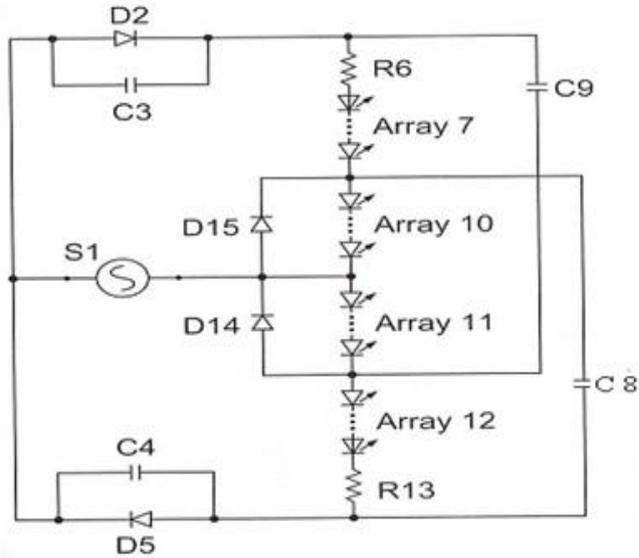


Рис. 1.3. Усовершенствованная схема бездрайверного светильника

Немалый интерес некоторым специалистам может представить электрическая схема маломощных ламп (рис.1.4), анализ работы которой в известной нам литературе отсутствует.

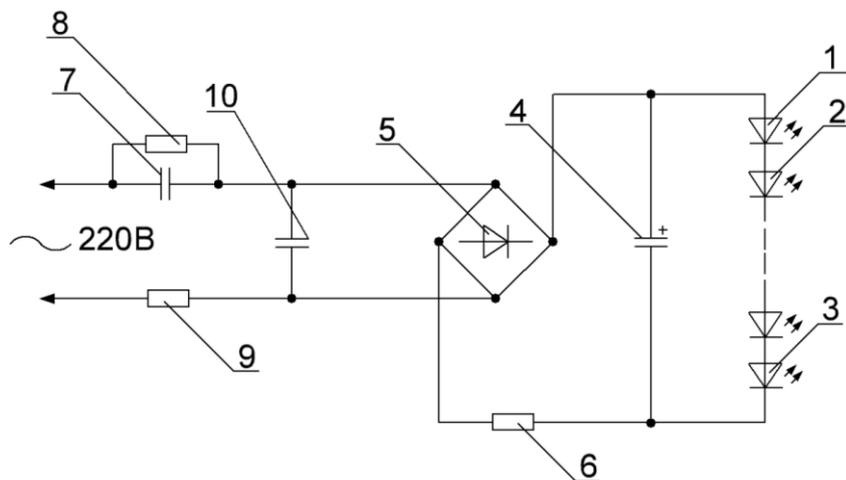


Рис. 1.4. Принципиальная электрическая схема светильника, представленная в патенте [67]

Схема светодиодного светильника по патенту № 95214, представленного на рисунке, содержит группу последовательно соединенных светодиодов, подключенных параллельно сглаживающему пульсации напряжения конденсатору С4, подсоединенному к диодному выпрямителю 5, присоединенному последовательно конденсатору 7, задающему рабочий ток. При этом конденсатор 7 с подключенным параллельно ему разрядным резистором 8 вместе с токоограничивающим резистором 9 последовательно подключены в сеть переменного тока. Новым в схеме является то, что параллельно входу выпрямителя в цепь переменного тока подключен дополнительный конденсатор 10.

Конденсатор 7 вместе с сопротивлением светодиодного кластера (СДК) 1-3 образует токостабилизирующий делитель, в котором при повышении напряжения сети относительно номинального значения происходит увеличение падения напряжения на конденсаторе 4, что ведет к определенной стабилизации выходного напряжения.

В патенте № 95214 конденсатор 10 предусмотрен для снижения пускового тока и, соответственно, защиты светодиодного модуля от перегорания. Следует отметить, что максимальный пусковой ток, с одной стороны, ограничен значением емкости токостабилизирующего конденсатора. В момент включения светильника, пусковой ток в несколько раз больше номинального, но ограничен реактивным сопротивлением токостабилизирующего конденсатора 7 светильника. Однако, это не требует введения дополнительных резисторов 6, 9 и 11, так как сила тока, непосредственно протекающего через светодиоды возрастает во времени по экспоненте.

На сегодня предложен целый ряд вариантов данной схемы питания светодиодных ламп и портативных светильников мощностью до 3-5 Вт, один из которых представлен на рис. 1.5. Она мало отличается от вышеприведенного. В ней дополнительно введены стабилитроны, по

существу не требуемые для защиты светодиодного модуля, а также ограничительный резистор 11 во входной цепи. Для обеспечения малых пульсаций света необходимо обеспечить постоянную времени (τ) цепи заряда конденсатора 4 значительно больше длительности четверть периода электрического тока промышленной частоты. Данная задача в маломощных светильниках может быть решена путем увеличения емкости электролитического конденсатора 4. При этом не только уменьшается пульсация света, но и увеличивается световой поток. Вместе с тем, значительное увеличение емкости конденсатора, как правило, ограничено его предельно допустимым рабочим напряжением.

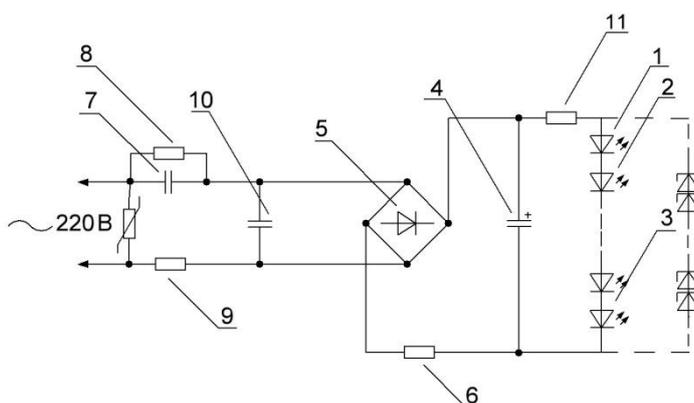


Рис. 1.5. Принципиальная электрическая схема, представленной в патенте 95214

Данное условие необходимо для снижения пульсации света, однако оно еще не достаточно. Для снижения уровня пульсаций света необходимо также, чтобы постоянная времени заряда конденсатора 4 была минимальной. Между тем, за счет введения в схему резисторов 6 и 9 происходит увеличение времени заряда конденсатора, что приводит к повышению уровня пульсации света. Нередко применяют резистор 11 располагая его последовательно со светодиодным модулем. При этом достигается снижение пульсаций света за счет повышения постоянного времени при одновременном уменьшении

светоотдачи светильника, возрастает постоянная времени разряда конденсатора 4. Высокие значения допустимого тока импульсного характера и мощности рассеивания светодиодов позволяют отказаться от применения конденсатора 10, что упрощает схему и способствует увеличению светоотдачи светильника порядка на 10%. Эти усовершенствования ведут также к снижению требований к величине емкости конденсатора 7.

Следует отметить, что появление в сети высоковольтных импульсов малой длительности не будут проникать в цепь светодиодного кластера (СДК), так как его сопротивление совместно с индуктивным сопротивлением входной цепи образуют фильтр низких частот.

Таким образом, устранение трех токоограничивающих резисторов 6, 9 и 11 в конденсаторном светильнике рассмотренного типа позволяет заметно снизить уровень пульсаций света, повысить световой поток, светоотдачу и открывает возможность проектирования светильников со значительно большей мощностью. Поскольку представленные схемы в целом являются новыми, то контроль их технических параметров в литературе отсутствует и представляет определенный научный интерес.

Выводы к первой главе

1. Светодиодные офисные и промышленные светильники по световой эффективности и сроку службы при мощности до 200 Вт к настоящему времени превзошли все виды газоразрядных светильников, включая натриевые. Наличие дополнительного ежегодного прироста светоотдачи светодиодных осветительных приборов на 10-15 % при сроке службы порядка 50000 ч и снижении цены делают их самыми перспективными для научных разработок и применения.

2. Метод комплексного контроля качества светодиодных осветительных приборов на основе многоэтапного анализа остается полностью не разработанным, что сдерживает их широкое внедрение, а применяемая методика определения рейтинга на основе разнобалльной шкалы оценки их параметров требует существенной доработки.

3. Применение новых типов светодиодных светильников с емкостным стабилизатором тока открывает путь к производству более надежных светодиодных светильников и с меньшей стоимостью, который вместе с тем сдерживается отсутствием сведений о технических их характеристиках и практических достоинствах.

4. Из многочисленных параметров светодиодных осветительных приборов наиболее широкое применение находят порядка 10, которые могут быть охарактеризованы как базовые и поэтому представляют наибольший интерес для последующих исследований.

2. ЭТАПЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В данной главе излагаются первые три этапа анализа и контроля качества светодиодных осветительных приборов. Полученные данные являются результатом теоретического анализа и контроля качества многих световых осветительных приборов выпускаемых в России и за рубежом.

Краткая характеристика рассматриваемых этапов

1. Первым подэтапом первого этапа по каталогам осуществляется отбор фирм, выпускающих СОП соответствующего заказчику предназначения, мощности и отвечающие одному из возможных его требований, в количестве достаточном для проведения анализа. Например, отбираются фирмы, выпускающие промышленные СОП, мощностью 50-70 Вт и обязательно взрывобезопасные или влагозащищенные для подводного погружения.

Вторым подэтапом первого этапа проводится сравнительная оценка уровня производителей этого типа СОП по качеству их всей номенклатуры изделий на основе экспресс-оценки их эффективности.

Третьим подэтапом первого этапа осуществляется предварительная экспресс-оценка эффективности непосредственно самих изделий.

Во многих случаях для ускорения анализа можно ограничиться проведением первого и третьего подэтапов.

Для проведения перечисленных подэтапов анализа предварительно была обоснована низкая достоверность широко применяемой методики оценки рейтинга разных типов осветительных устройств [38, 72, 74-79, 107-109] и необходимость разработки нового метода предварительной экспресс-оценки качества СОП и их отбора для последующего этапа анализа.

2. Вторым этапом осуществляется анализ степени соответствия параметров отобранных светильников предварительно разработанным

критериальным значениям. Отбираются СОП с наилучшими интегральными характеристиками. При наличии возможности дополнительно привлекается визуальный осмотр и осуществляется оценка СОП непосредственно в условиях промышленных выставок и торговых домов по ряду параметров с привлечением также нескольких вспомогательных измерительных средств, например планшеты.

4. Третий этап – завершающий этап теоретического анализа. Осуществляется детальный анализ технических характеристик СОП на основе изучения содержания их каталогов, выясняются у фирм разработчиков дополнительные параметры СОП и комплектующих деталей с последующим их отбором для четвертого этапа анализа.

5. Четвертый этап экспериментальный – осуществляются разработка методик, установок и измерение основных параметров светодиодных светильников и ламп.

6. Пятый этап экспериментальный – осуществляется закупка небольшой выборки выбранного типа СОП с целью подтверждения его качества.

Для наглядности на рис. 2.1 представлена обобщенная схема проведения всех этапов исследований.

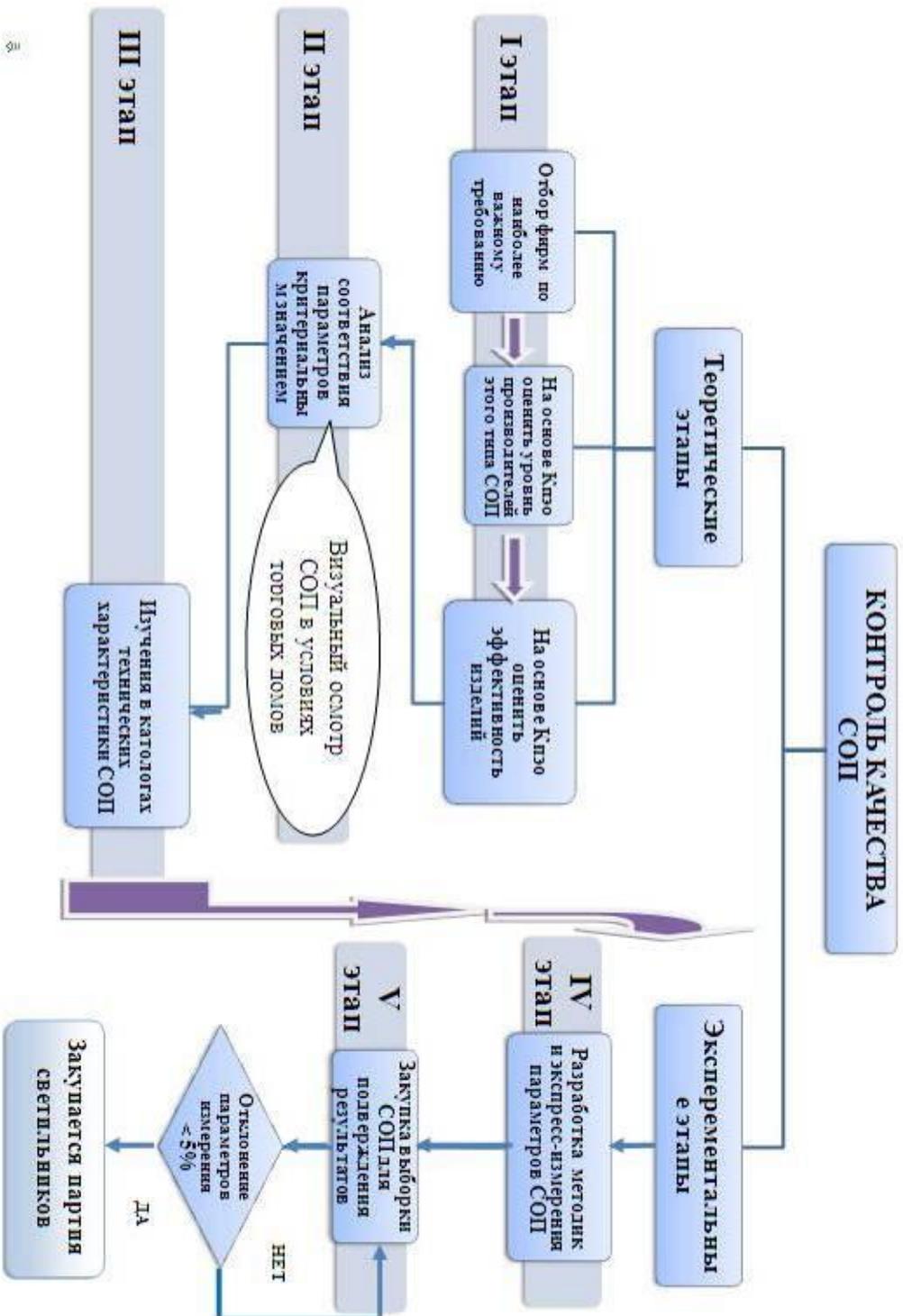


Рис. 2.1. Схема проведения многоэтапного анализа и контроля светотехнических осветительных приборов

2.1. Разработка и применение метода предварительной экспресс-оценки эффективности светодиодных осветительных приборов – первый этап анализа и контроля

На сегодня актуальным вопросом является не только разработка и исследование светодиодных светильников, но и установление подходов к оценке качества офисных, уличных, промышленных светодиодных светильников на этапе их приобретения. Вначале для оценки качества светильников был предложен алгоритм трехэтапного анализа СОП [А3]. Далее он совершенствовался по мере проведения многолетних теоретических исследований и наработки разных методик контроля качества светильников. Необходимость разработки нового метода определения рейтингов СОП обусловлена низкой достоверностью ранее применяемой методики, что будет обосновано ниже.

2.1.1. Обоснование несовершенства методики определения рейтинга светодиодных ламп и светильников на основе разнобалльной шкалы

В плане дальнейшего совершенствования методики определения рейтинга СДЛ и СДС представляет интерес проанализировать уровень достоверности ранее использованной методики [74-79] при определении рейтинга разных типов светильников. Прежде всего, следует отметить, что в этих работах применена разномасштабная балльная шкала (7, 9 и 11 балльные шкалы), использованная для характеристики как высокоинформативных, так и малоинформативных параметров. Кроме того, параметры, изменяющиеся в малых пределах, оцениваются той же балльной шкалой, что и изменяющиеся в больших пределах.

Вначале следует остановиться на анализе методики и особенностях проведения рейтинга СДС в [78]. В ней для характеристики всех параметров применена 11 балльная шкала. У пяти СДЛ из 11 коэффициент пульсации

($K_{\text{п}}$) освещенности имеет пренебрежимо малые значения (менее 1,6 %), в то время как различие между ними оценивается с разбросом в 3 балла. Это ведет к тому, что итоговой балл хороших СДЛ с малым $K_{\text{п}}$ занижается, а плохих, наоборот завышается, увеличивая, таким образом, погрешность данной методики.

Малыми значениями $K_{\text{п}}$ вообще следовало бы пренебречь, так как согласно санитарным требованиям нормируется светильники с коэффициентом пульсации, начиная с 5% [24]. Следует принять во внимание также то, что регистрируемые пульсации светового потока имеют частоту 100 Гц, в то время как сенсорная система зрительного аппарата визуально воспринимает эти пульсация ослабленными еще на 2 порядка, то есть на уровне 0,01%.

Дополнительная погрешность в определение рейтинга вносит методика оценки цветовой температуры. Максимальное количество баллов начисляется СДЛ, имеющей самую низкую цветовую температуру, равную 2700 К. Если при повышении начальной цветовой температуры СДС в пределах ее пороговой разрешимости, а именно на 300 К, снижение балла происходит на 2 единицы, то при изменении $T_{\text{ц}}$ на 1700 К она также оценивается приростом баллов практически на те же величины. Следует отметить, что к настоящему времени ряд известных специалистов, например [27], в качестве оптимальной температуры светильников принимают значения в пределах 4000-4500К, которые по существу и должны оцениваться максимальным баллом. Со временем мы и другие разработчики пришли к такому же мнению. Поэтому зависимость количества баллов от цветовой температуры СДЛ должна описываться функцией близкой к параболе с вертикальной осью, а не произвольной кривой.

Также некорректно оценивается спад световой потока. Так, его снижение всего на 3,5-5 %, уже оценивается на 1 балл ниже, хотя это

изменение светового потока по абсолютной величине практически соизмеримо с погрешностью методики его измерения (рис. 2.2).

При оценке спада светового потока – менее информативного параметра допускается погрешность в один балл (рис. 2.2). При малых значениях спада потока не обеспечиваемых на практике она оценивается существенно выше, чем при реально обеспечиваемых.

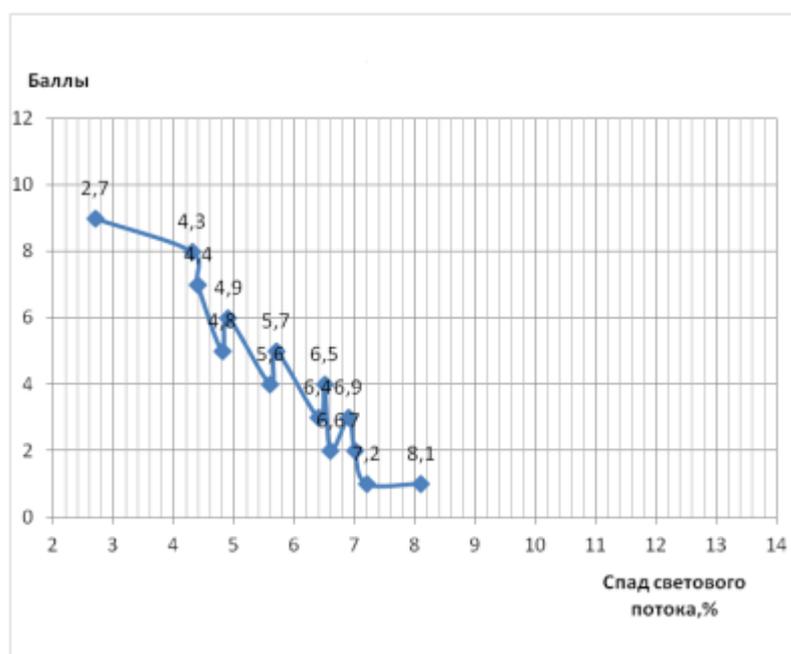


Рис. 2.2. Характер связи между спадом светового потока и баллами

Еще в большей степени допускается погрешность при оценке световой отдачи (рис.2.3). Так, значение светотдачи, равное 80,6 лм/Вт, оценивается на целых 8 баллов выше соизмеримого светового потока, равного 81,3 лм/Вт. Кроме того, недопустимо, чтобы верхнее, по существу близкое к предельно допустимому, значение в 92 лм/Вт оценивалось также, как нижнее значение светотдачи в 2 балла.

Следует отметить, что из 9-и оцениваемых параметров более половины являются либо сравнительно малыми по абсолютному значению, либо малоинформативными.

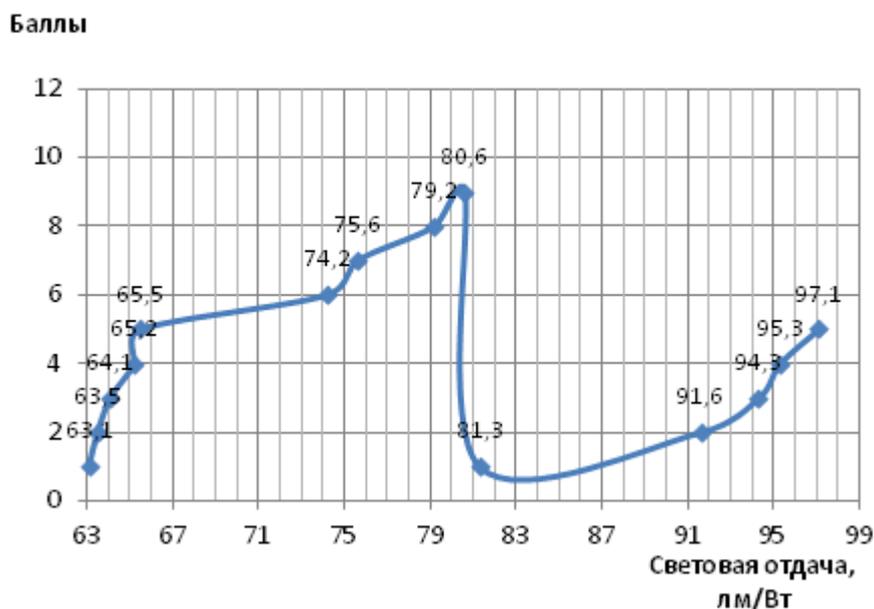


Рис. 2.3. Характер связи между светоотдачей и баллами

Допускаемая при этом ошибка, например всего в один балл в каждом из 4-5 параметров, приводит к изменению итогового балла на 4-5 единиц, что ведет к большой погрешности оценки, достигаемой до $\pm 30-40\%$. Надо полагать, что по этой причине максимальное значение итогового балла СДЛ отличается от минимального всего на 13 единиц или на 22%. Это сказывается на существенном снижении разрешающей способности методики оценки и достоверности результатов определения рейтинга СДЛ и СДС.

Занимаемое светильником место в рейтинге определяется, в том числе, точностью исходных данных и погрешностью представления результатов измерений испытательной лабораторией. По этой причине строго определять место того или иного светильника по отклонению суммы баллов на 3-4 условные единицы нецелесообразно. Проведенный анализ свидетельствует о том, что ранее предложенная и используемая методика определения рейтинга разных типов светильников и ламп [74-79] обладает

существенной погрешностью, ведущей к снижению достоверности окончательных результатов, что будет дополнительно показано в р. 2.1.2.

2.1.2. Разработка аналитического выражения для предварительной экспресс-оценки эффективности светодиодных ламп и светильников

Общая характеристика методики оценки

Характеристику светильников зачастую начинают проводить с оценки абсолютного значения их светового потока, хотя оно в немалой степени определяется потребной мощностью светильника. Вместе с тем, нами проведенные вычисления показывают, что если между световым потоком и светоотдачей [78] имеется небольшая, но достоверная корреляция ($r = 0,66$; $P > 0,99$), то между мощностью и световым потоком она недостоверна ($r = 0,47$; $P < 0,95$). Поэтому в качестве наиболее достоверной интегральной характеристики светильника может служить ее светоотдача, а не мощность и световой поток. Следовательно, светоотдачу вполне можно принять в качестве одного из самых важных показателей при сравнительной оценке светильников с соизмеримой мощностью.

Другим не менее важным параметром светильников является их стоимость, но поскольку при одинаковой стоимости светильники обеспечивают разный световой поток, то его целесообразно нормировать, а именно, их цену следует приводить к единице светового потока (руб/лм). Такая практика все шире начинает находить применение.

Многие другие параметры, такие как гарантийный срок службы, коэффициент мощности и даже коэффициент пульсации, колеблясь в допустимых пределах, имеют соизмеримые значения и на первом этапе сравнения светильников могут быть по информативности отнесены к вторичным.

Производимые светильники одной и той же мощности отличаются по светоотдаче друг от друга почти в 2 раза, а по цене и по ресурсозатратам даже в 2-4 раза. Поэтому, только приводя каждый из базовых параметров к единицам мощности и цены, можно получить объективное интегральное предварительное представление о степени пригодности СОП.

Таким образом, наиболее важными показателями, определяющими целесообразность приобретения светотехнической продукции, являются их световая энергоэффективность и удельная стоимость [A11, 99]. Оба эти параметра у светодиодных светильников и ламп принимают в каталогах значения в широких и к тому же соизмеримых пределах, которые к тому же у СДЛ и СДС могут изменяться как в одном, так и встречном направлениях. Оперативно проанализировать целесообразность приобретения СОП, применяя указанные параметры врозь, достаточно трудно. Поскольку светоотдачу желательно иметь более высокую, а цену наоборот более низкую, и учитывая соизмеримые пределы их изменения, то имеется целесообразность для повышения чувствительности методики предварительной оценки светодиодных ламп и светильников использовать интегральный коэффициент предварительной экспресс-оценки эффективности ($K_{\text{пэо}}$), представляющий собою отношение светоотдачи (лм/Вт) к единице цветового потока (руб/лм), и имеющий размерность лм²/Вт.руб [A2, A11].

Разработка коэффициента для предварительной экспресс-оценки эффективности светильников

Вначале на основе приводимых в каталогах фирм значений светового потока (Φ) и потребляемой мощности СДС (P) определяется светоотдача светильников по формуле:

$$\eta = \Phi/P, \text{ лм/Вт.} \quad (2.1)$$

Далее определяется стоимость единицы светового потока - 1 лм по формуле:

$$\gamma_{\text{ст}} = C/\Phi, \text{ руб/лм}, \quad (2.2)$$

где C – стоимость светильника.

На основе значений показателей η и $\gamma_{\text{ф}}$ определяется коэффициент предварительной экспресс-оценки эффективности светильника по формуле:

$$K_{\text{пэо}} = \eta / \gamma_{\text{ст}}, \text{ лм}^2/\text{Вт. руб}, \quad (2.3)$$

Более достоверную информацию на первом этапе, особенно при сравнении СДС разных фирм, можно получить, если светильники оценивать непосредственно не конкретным, в ряде случаев соизмеримым, значениям $K_{\text{пэо}}$, а по принадлежности их по уровню к определенному классу (классу), предварительно разбив весь диапазон его значений на пять уровней. В литературе при классификации изделий по разным признакам, предпочитают разбивать весь диапазон их значений также на пять классов или уровней по той причине, что именно такое его количество, являясь оптимальным, которое позволяет в большей степени избежать ошибочную интерпретацию и более объективно охарактеризовать изделие.

Согласно результатам анализа п. 2.3.1-2.3.3 коэффициент $K_{\text{пэо}}$ принимает значения в пределах от 34 до 181 условных единиц. Разбивка значений коэффициента эффективности светильников на 5 равных уровней осуществлена с определенным запасом их предельных значений (25-200 усл. ед) и представлена в табл. 2.1. Для простоты изложения в дальнейшем коэффициент $K_{\text{пэо}}$ будет приводиться без указания его размерности, а именно, условно в относительных единицах.

Завышение верхней границы диапазона $K_{\text{пэо}}$ на 10 % относительно полученного максимального его значения (181 усл. ед.) осуществлено из расчета, что с каждым годом светоотдача производимых светильников будет расти, а цена – уменьшаться.

2.1. Распределение коэффициента предварительной экспресс-оценки эффективности светильников по уровням

№ уровня	1	11	111	1V	V
Значение $K_{пэо}$	165-200	130-164	95-129	60-94	25-59

Использование определенного запаса по предельным значениям диапазона $K_{пэо}$ придает универсальность предложенной системе классификации и позволит ее применять еще в течение ряда лет без внесения корректировки.

Значения $K_{пэо}$ также несколько определяются типом светильников (офисные, уличные и промышленные), поскольку удельная цена светового потока офисных светильников отдельных производителей соответственно на 20 и 40 % меньше промышленных. Это следует учитывать при сравнении разных типов светильников. Погрешность определения $K_{пэо}$ будет определяться точностью представления параметров в технической документации. В целом суммарная погрешность определения значений $K_{пэо}$ и уровня СДС может составлять на уровне $\pm 5-10$ %, так как большинство производителей завышают как световой поток, так и мощность. Такая величина погрешности вполне приемлема для самого первого оценочного этапа отбора светильников из большого количества моделей светильников.

В последние годы предпринималось несколько попыток дальнейшего совершенствования предложенного нами метода. Была предпринят новый подход для подведения итогов Евразийского конкурса светодиодных светильников 2015 года. Однако большая ее эффективность не была подтверждена (Светотехника № 6, 2015 и № 1, 2016). Причем по ходу проведения конкурса предложенная автором формула принципиально изменялась.

Апробация предложенного нами метода показала возможность существенного расширения размаха значений интегральных оценок и, таким образом, повысить чувствительность метода, достоверность оценки и высвобождает исследователя от необходимости привлечения экспертов к этой работе.

2.1.3. Определение требуемого исходного количества светодиодных осветительных приборов для проведения каждого этапа анализа

Для выполнения второго и третьего подэтапов первого этапа и последующих имеется необходимость в выборе определенного количества СОП для проведения каждого последующего этапа.

Для решения данной задачи обозначим через δn_i относительное количество СОП отбираемого для последующего анализа. Допустимо принять $\delta n_2 = \delta n_3 = \delta n_4 = \delta n$, где δn_2 , δn_3 и δn_4 – объемы выборок используемые соответственно для второго, третьего и четвертого этапов анализа.

Объем выборки для второго этапа анализа может быть вычислен по формуле

$$n_2 = n_0 \times \delta n, \quad (2.4.1)$$

где n_0 – исходный объем выборки светильников, выбираемый исходя из требований табл. 2.2.

Для третьего и четвертого этапов анализа объем выборок вычисляется по аналогичной формуле

$$n_3 = n_0 \times \delta^2 n \quad (2.4.2)$$

$$n_4 = n_0 \times \delta^3 n \quad (2.4.3)$$

Исходное количество требуемого СОП можно определить из (2.4.1.)

$$n_0 = n_4 / \delta^3 n = (3-5) / \delta^3 n \quad (2.5.1)$$

Количество СОП для четвертого должен следует выбирать, исходя из возможности обеспечения исходного объема выборки быть и затрат рабочего времени, равным 3-5. Руководствуясь этим значением, можно определить необходимое исходное СОП для каждого этапа анализа, прологарифмировав выражение (2.5), а проще - расчетным путем.

Для выполнения третьего подэтапа первого этапа требуемый относительный объем выборки может быть определен из выражения

$$\delta^{\text{III}}n = n_0 / \sqrt{\delta n} \quad (2.5.2)$$

В табл. 2.2 представлено общее количество СОП требуемое для постановки исследований и проведения каждого последующего этапа при использовании разных значений коэффициента n_4 .

2.2. Значения требуемых объемов выборок для каждого последующего этапа анализа при n_4 , равном 3 или 5

Относит. колич. СОП (δ_i), %	Исходный объем СОП	№ последующего этапа и подэтапа			
		1 ^{III}	2	3	4
50	24	17	12	6	3
55	18	13	10	6	
60	14	11	8	5	
50	40	28	20	10	5
55	30	22	17	9	
60	23	18	14	8	

Имея исходное значение объема выборки, и выбрав необходимое конечный объем выборки по табл. 2.2, можно определить требуемый объем выборки для каждого этапа в абсолютных значениях или в процентах.

2.1.4. Результаты применения метода предварительной экспресс-оценки эффективности светодиодных ламп и светильников

Вначале руководствуясь табл. 2.2 следует выбрать порядка 30-40 фирм и определить средний коэффициент предварительной экспресс-оценки эффективности номенклатуры их светодиодной продукции.

2.1.4.1. Результаты применения разработанного метода для сравнительной характеристики номенклатуры светильников многих производителей

В работе в качестве первичных данных использовали значения светового потока, мощности и цены светильников разных фирм, представленных в каталогах, прайс-листах и Интернете. Для этого были выбраны фирмы, информация о которых чаще встречается в светотехнических журналах, участвующие в промышленных выставках и в той или иной мере известные разработчикам светильников. На основе исходных (базовых) данных первоначально вычисляли светоотдачу и цену единицы светового потока – люмена для каждого типа и модели выбранных светодиодных светильников сорока отечественных и зарубежных фирм. Далее на основе предложенного метода (р. 2.1) вычисляли коэффициенты предварительной экспресс-оценки эффективности ($K_{\text{пэо}}$) для 270 СДС 40 отечественных и зарубежных фирм.

Методика обработки данных была следующая. Определяли средние значения светоотдачи и цены единицы светового потока для продукции каждой фирмы и вычисляли коэффициент $K_{\text{пэо}}$. По его значению определяли класс каждого светильника, а далее - среднее значение класса продукции каждой фирмы. О принадлежности к тому или иному классу судили по результатам обработки от 5 до 11 типов СДС и их моделей. При обработке

данных не учитывали параметры аварийных и взрывозащитных СДС, поскольку их цена порядка в 1,5 раза выше аналогов.

Данные о ценах СДС доступны были лишь из прайсс-листов того или иного дилера каждого производителя. Поэтому имело место различие цен в исходных данных порядка на 10%, что также влияло на точность вычисления интегрального показателя $K_{\text{пэо}}$.

В отдельных выборках значения цены светового потока светильников имели величины, далеко выходящие за пределы среднего значения, что позволяло при обработке эти данные отнести к так называемым в статистике «промахам».

Занимаемое светильником место в рейтинге определяется, как отмечено выше, рядом фактором, в том числе и погрешностью измерений результатов испытательной лаборатории и точностью представления исходных данных. По этой причине строго определять место того или иного светильника по смещению коэффициента эффективности на 3-4 условные единицы или на 1-3 % нецелесообразно. Более объективную информацию можно получить, если светильники оценивать непосредственно не по значению $K_{\text{пэо}}$, а по принадлежности их к тому или иному классу, предварительно, разбив весь диапазон его значений на пять уровней (табл. 2.3).

Числовые данные параметров светильников, заимствованные из [78], предварительно округлены нами в соответствии с рекомендациями [91]. Значения светового потока, стоимости светильника, мощности и светоотдачи округлены до трех значащих цифр, поскольку иначе точность представления ряда исходных данных на два-три порядка будет неправомерно выше точности их измерения.

Поскольку $K_{\text{пэо}}$ непосредственно не зависит от абсолютного значения мощности светильника, то это дает основание для объединения всех

светильников [78] в одну группу и представления их данных единой таблицей. Шесть параметров, таких как коэффициент мощности, цветовая температура, индекс цветопередачи, спад светового потока и гарантийный срок исключили на первом этапе анализа, поскольку они на первом этапе анализа менее значимыми. Следующим этапом, при необходимости, можно проанализировать тот или иной параметр светильника, который представляет интерес в соответствии с его предназначением. Такой поэтапный подход позволяет повысить точность решения поставленной задачи.

Для облегчения изложения материала в процессе его описания имело смысл ограничиться условным наименованием светильников, а именно по названию фирм-производителей без указания их марки.

За последние годы достигнут большой прогресс в вопросе повышения светоотдачи светильников и снижения их массы. В 2010 году Ю.Трофимовым было предложено в качестве одного из показателей светильников использовать его удельную массу, приняв за верхнее допустимое среднее значение 0,1 кг/Вт [90]. В последующие годы он активно используется нами при характеристике конструкций светильников.

В табл. 2.3 представленные фирмы размещены с учетом среднего значения уровня качества светильников в соответствии с их коэффициентом эффективности. На основе проведенных вычислений наибольший интерес для последующего анализа, представляют СДС первых 20 фирм, которые отнесены к 2 и 3 классам и частично к четвертому.

Самые высокие значения $K_{\text{пэо}}$ у светильников отдельных фирм в большей степени определяются меньшей их стоимостью. Последнее может зависеть не только от эффективности производства и ценовой политики предприятия, но и применением дешевых комплектующих соответствующих фирм, использованием менее квалифицированных кадров и некоторыми другими факторами. Это легко выявляется на следующих этапах экспертизы.

2.3. Дифференциация светильников отечественных и зарубежных фирм по уровню их эффективности

№ п/п	Фирма	Колич. типов СДС	η , лм/Вт	$\gamma_{ст}$, руб/лм	Размах $K_{пэо}$	Усред. значен. класса	Класс СДС
1	Varton	7	105	0,57	167-212	1,6	2,0
2	Всесветодиоды	11	111	0,62	110-332	1,8	
3	Диодные технологии	10	86	0,59	96-184	1,9	
4	Viled	9	119	0,60	62-216	2,0	
5	Оптэлектросвет	6	80	0,72	101-244	2,2	3
6	LuxON	8	108	0,61	71-186	2,6	
7	Komtex	5	95	0,90	98-135	2,7	
8	Ардатовский светотехнич. завод	6	80	0,54	99-148	2,8	
9	Ферекс	7	102	0,92	66-147	2,9	
10	Ледез	5	97	1,7	22-124	3,0	
11	Протон	7	96	0,83	42-190	3,0	
12	Pandora-led	7	120	1,1	77-144	3,0	4
13	Svetorezerv	7	98	1,3	39-143	3,2	
14	Duray	9	110	1,2	69-133	3,4	
15	Евролед	5	88	0,92	80-142	3,4	
16	Ledel	7	98	1,2	59-116	3,7	
17	Kreonix	8	85	0,96	52-177	3,7	
18	Proton-orel	7	89	1,2	35-114	3,8	
19	Электропром	6	90	1,2	37-130	3,8	
20	Nislight	7	84	1,2	52-115	3,9	
21	Новый свет	9	98	1,4	27-141	4,0	
22	ИНТЕССО	8	86	1,3	30-149	4,0		5
23	Galad	5	81	1,3	35-64	4,1	
24	Светлана-оптоэлектроника	7	96	1,7	26-87	4,1	
25	Пензенский радиозавод	3	87	1,7	36-125	4,2	
26	Лайтсвет	7	85	1,4	27-125	4,2	
27	Фокус	6	81	1,7	30-156	4,3	
28	Optogan	8	69	2,0	26-90	4,3	
29	Grad-master	7	92	1,5	45-83	4,3	
30	Ledeffect	7	84	1,2	42-95	4,3	
31	СДС - групп	7	97	1,2	42-94	4,4	
32	Ecolight	9	80	1,5	28-101	4,4	
33	Горизонт	6	75	1,5	26-92	4,5	
34	Zers-group	7	99	1,9	32-77	4,6	
35	Xlight	6	81	1,7	22-90	4,7	
36	Econex	6	57	1,9	27-102	4,7	
37	Lumitec	5	86	2,3	20-80	4,7	
38	Philips-optogan	8	83	2,8	22-50	5,0	
39	Soptel	7	65	1,8	21-49	5,0	
40	GREENEC	5	80	2,6	15-48	5,0	

При усреднении данных группы СДС получены меньшие значения $K_{\text{пэо}}$ (менее 180), и, соответственно, выпускаемая номенклатура даже наиболее экономичных на сегодня СДС отнесены только ко второму и третьему классам. Поскольку повышение светоотдачи с годами происходит достаточно высокими темпами, то в последующем, с течением некоторого времени, класс многих выпускаемых светильников будет несколько выше. При охвате сравнительно большой номенклатуры изделий значения $K_{\text{пэо}}$ у отдельных СДС выходят за верхний и нижний пределы (25 и 200) [А14]. Для сохранения ранее нами предложенных значений уровней, отдельные светильники со значениями $K_{\text{пэо}}$ превышающих 200 условно отнесены к первому классу, а менее 25 - к пятому.

У светильников фирм пятого класса имеет место достаточно низкое значение $K_{\text{пэо}}$. Это вызвано не столько меньшим значением светоотдачи, сколько существенно высокой малопринимлемой удельной стоимостью изделий $\gamma_{\text{ст}}$. Причем, чем меньше $K_{\text{пэо}}$, тем больше наблюдается разброс в ценообразовании светильников. Так, если абсолютно предельные значения разброса $\gamma_{\text{ст}}$ светильников 2 - 4 класса 1,2-1,5 руб/лм, то у светильников 5 класса они достигают 3-7 руб/лм.

Средние значения удельной стоимости светового потока СОП третьего класса относительно СДС 4 и 5 групп, соответственно, в 1,5 и 2,2 раза меньше. Это свидетельствует о том, что важное потребительское качество СДС 3 класса определяется в основном меньшей стоимостью светового потока.

Только усредненные результаты по целому ряду производимых светильников дают основание для предварительного суждения об уровне производимой продукции той или иной фирмой.

Фирма «Атом Свет» выпускает качественные светильники, но спецназначения. Поэтому ее изделия могут быть лишь формально отнесены к 5 классу и поэтому результаты обработки не могут быть представлены в приведенной таблице.

У СДС трех фирм (Pandora-led, Viled и Всесветодиоды) отмечается достаточно высокая светоотдача (111-120 лм/Вт), что на 10-20 % выше продукции известных производителей. У некоторых фирм это может быть связано с тем, что значения светоотдачи без пояснения приводятся при температуре р-п перехода кристалла светодиодов равной 25 °С. Для одного из светильников фирмы «Всесветодиоды» вычислением получена светоотдача, равной даже 173 лм/Вт, что превышает значения светоотдачи других моделей в 1,5-1,7 раза. Очевидно, в приводимых ими данных допущена какая-то описка.

Поскольку для завершения полного контроля требуется выполнить еще 4 этапа анализа качества светильников и степени их соответствия требованиям заказчика, то для второго этапа анализа следует иметь еще достаточно большую по объему выборку (до 15-25), для чего необходимо отобрать светильники фирм, со значениями $K_{пэо}$ более 90-100. Это, в основном, СДС отнесенные к 2 и 3 классам. Надо иметь в виду, что светильники, отнесенные к числу пригодных (2-3 класса) по результатам последующего этапа контроля их качества, как правило, могут быть расположены уже в другой последовательности. Она будет, в основном, отражать степень соответствия отобранных СДС критериальным значениям [A13].

Следует отметить, что во многих случаях можно избежать применения второго наиболее трудоемкого подэтапа для ускорения проведения анализа, если воспользоваться фирмами, рейтинг которых уже найден и приведен в

табл. 2.3. Его целесообразно использовать в основном для более тщательной характеристики самих фирм изготовителей.

Можно надеяться, что после ознакомления с представленным материалом ряд производителей переработают свою систему ценообразования выпускаемой продукции, что в свою очередь приведет в целом к некоторому ее удешевлению и увеличению объема производства.

Таким образом, полученные результаты следует рассматривать лишь как базу для перехода к третьему подэтапу анализа непосредственно светильников.

2.1.4.2. Результаты применения разработанного метода для сравнительной характеристика офисных светодиодных светильников

Предложенный метод предварительной экспресс-оценки эффективности светильников (р. 2.1) свободен от многих недостатков по сравнению с ранее используемой методикой, основанной на применении балльной системы [72, 74-76]. Дальнейшее обоснование проведем на примере апробации метода на примере при сравнительной оценки эффективности потолочных офисных светодиодных светильников, использованных в работе [79].

В табл. 2.4. представлены исходные данные параметров СДС заимствованные из [79], которые использованы для определения других производных, приведенных и более информативных параметров. В ней СДС расположены в той же последовательности, что и в табл. 2.5, то есть в порядке снижения их рейтинга, оцениваемого по коэффициенту $K_{пэо}$.

На основе данных светового потока и мощности СДС, представленных в табл. 2.4, практически без комплексного показателя невозможно выявить среди них наиболее энергоэффективные.

2.4. Значения ряда базовых параметров офисных светильников

№ п/п	Наименование фирмы	Марка светильника	Φ, лм	P, Вт	Цена, руб	m, кг	Цветов. темпер., К	Спад Φ*, δ _{сп} , %
1	ГУД ЛАК	GI-Armstrong 96(GI) НРРИ	3960	36	1480	3,5	4900	0
2	ЛАЙТСВЕТ	Лайт свет-Армстронг	2590	24	1500	3,7	4000	2,5
3	ИРСЭТ-ЦЕНТР	SvetaLed istrong*4-u-2	2930	30	1750	4,0	4100	2,5
4	ВАРТОН	V-01-070-036-6500К	3350	36	2210	3,3	5800	3,3
5	Новый источник света	Офис-6 Сд ВО-16-108	3830	42	2500	4,5	5000	2,5
6	Vivo Luce	Andante HQ LED-01	3840	36	3150	2,8	4000	2,5
7	ЭКОЛАЙТ	EL-DBO-030-0222-20x	2550	29	2294	1,3	4600	3,1
8	DURAY	Байкал 600 Люкс	3050	32	3450	3,8	4900	2,0
9	Uniel	ULP-6060-40WLNW	2600	38	2793	3,6	4100	2,1
10	ЭНЕРГОМ	NR-OLM60-36PW	2910	42	4200	4,3	5200	3,5
11	НЕПЕС РУС	Cap Flat 66-16	3470	49	6615	5,8	4200	3,5

* - приведенные значения вычислены на основе графиков, представленных в [78].

По значению цены и массы при внешних одинаковых энергетических параметрах имеется существенное различие между СДС в 3,5-4,5 раза. Вместе с тем, различие по цветовой температуре и спаду светового потока при исключении «промахов» в целом небольшое. Причем спад светового потока по абсолютной величине настолько мал, что в информативном отношении он уже не представляет практического значения. По приведенным в табл. 2.6 данным также трудно установить, что первые 2-3 СДС в действительности существенно лучше последних.

Масса основных СДС находится в пределах 2,8-4,5 кг. Только масса двух СДС существенно выходят за указанные пределы по той причине, что конструктивно они выполнены иначе. Если у СДС фирмы НЕПЕС РУС масса СДС превышает в 1,3 раза верхнего его значения, то у фирмы ЭКОЛАЙТ тип СДС относится к DownLight (точечным источникам) и поэтому его рабочая поверхность в 8 раз меньше, что, соответственно, определяет его меньшую массу.

Вычисленные дополнительные параметры СДС и приведенные к соответствующим масштабам представлены в табл. 2.5.

2.5. Значения ряда производных параметров и коэффициента предварительной экспресс-оценки эффективности офисных светильников

№ п/п	Наименование фирмы	Марка светильника	η , лм/Вт	γ_m , кг/Вт	$\gamma_{ст}$, руб/лм	Рейтинг по [79]	$K_{пэо}$	Класс (ширина класса)
1	ГУД ЛАК	GI-Armstrong 96(GI) НРПИ	110	0,150	0,37	1	297	1 (165-200)
2	ЛАЙТСВЕТ	Лайт свет-Армстронг	106	0,150	0,58	8	183	
3	ИРСЭТ-ЦЕНТР	SvetaLed istrong*4-u-2	97	0,133	0,59	5	165	
4	ВАРТОН	V-01-070-036-6500K	92	0,092	0,66	4	139	2 (130-164)
5	Новый источник света	Офис-6 Сд ВО-16-108	91	0,110	0,65	2	140	
6	Vivo Luce	Andante HQ LED-01	107	0,076	0,82	6	130	
7	ЭКОЛАЙТ	EL-DBO-030-0222-20x	97	0,044	0,90	9	97	3 (95-129)
8	DURAY	Байкал 600 Люкс	85	0,120	1,1	3	87	

9	Uniel	ULP-6060-40WLNW	64	0,095	1,1	7	62	4 (60-94)
10	ЭНЕРГОМ	NR-OLM60-36PW	48	0,101	1,2	10	58	5 (25-59)
11	НЕПЕС РУС	Cap Flat 66-16	41	0,119	1,9	11	37	

К первому и второму уровням по технико-экономической эффективности отнесены по три светильника, к третьему уровню – всего один, к четвертому уровню - три и к пятому уровню - два. При этом светильник фирмы ГУД ЛАК имеет наиболее высокое значение $K_{\text{пзо}}$. Оно существенно отличается от ранее установленного его верхнего нормативного предела и поэтому. Это значение $K_{\text{пзо}}$ в соответствии с методами статистической обработки отнесли к «промахам».

В предпоследней колонке табл. 2.5 приводится место рассмотренных светильников в сопоставлении с их рейтингом [74, 79]. Сравнительный анализ показывает, что первый светильник действительно представляет интерес для последующего определения его качества. Также подтверждена низкая эффективность последнего светильника. Это обусловлено тем, что его светоотдача в 1,5 раза меньше светильников первого уровня при завышенной в 4 раза цене.

Следует отметить, что если в одних случаях высокие значения $K_{\text{пзо}}$ достигаются за счет обеспечения эффективности производства, то в других случаях – могут быть достигнуты за счет использования более дешевых и менее качественных комплектующих, меньшей культуры производства, использования людей с меньшей квалификацией, низкой оплате труда и других факторов. Поэтому к некоторым светильникам, отнесенным к первому уровню и имеющим наиболее высокое значение $K_{\text{пзо}}$ (ГУЛАК ЛАК, ЛАЙТСВЕТ), надо относиться с некоторой осторожностью. Их рейтинг

достигнут в большей степени за счет низкой цены, которая более чем в 2-3 раза меньше цены светильников 3-4 классов. Степень соответствия высокого уровня их качеству очень быстро подтверждается или, наоборот, отрицается на последующих этапах анализа.

Дополнительная корреляционная обработка данных [78], представленных в табл. 2.4 и 2.5, также подтверждает, что установленный рейтинг СДС по уровню коэффициента предварительной экспресс-оценки эффективности лишь в несколько большей степени определяется их ценой ($r > 0,85$; $P > 0,999$), чем светоотдачей ($r = -0,79$; $P > 0,99$). Влияние спада светового потока ($r = 0,56$; $P < 0,95$) и цветовой температура ($r < 0,47$; $P < 0,95$) на рейтинг светильников достоверно не выявлено.

Как показывают результаты данных исследований, к первому классу светильников могут быть отнесены всего 2-3 светильника из 11-17. Они при последующем анализе могут оказаться менее качественными, чем СДС 2-3 класса. Поэтому для последующего теоретического и экспериментального исследования следует использовать группу светильников, отнесенных к первым трем уровням. Светильники 4-5 класса без снижения качества сравнительной их оценки вполне могут быть исключены из анализа.

Проведя интегральную оценку светильников по их эффективности и отобрав соответствующий процент, принадлежащие к 1-3 классам, можно приступить ко второму этапу анализа и отбора светильников.

Определенное значение имеет уровень обеспечения ресурсосбережения при производстве светильников разного назначения. По значению массы, приходящейся на единицу мощности, рассмотренные потолочные светильники в целом сравнительно близки друг к другу (0,92-0,12 кг/Вт). Однако у светильников отнесенных к 1 классу, оно почти в 1,5-3,0 раза выше, чем у всех остальных. С одной стороны это понижает показатель ресурсосбережения, но с другой стороны способствует дополнительному

повышению светоотдачи светильников на 10-15% за счет меньшего спада светового потока после их включения (табл. 2.5).

Следует обратить внимание на причину попадания двух типов СДС в 5 класс. В них, в отличие от других типов СДС, использована новая технология так называемого «удаленного люминофора», в результате чего у них светоотдача порядка на 25-40% меньше, чем у светильника 1 и 2 класса.

Нам представляется, что с использованием матового рассеивателя можно, при том же уровне снижения светоотдачи светильника, обеспечить аналогичную комфортность. Поэтому технологию удаленного люминофора следует пока рассматривать лишь в качестве дополнительного приема конструирования светильников.

Разработанный метод подтвердил ранее установленный рейтинг всего 3 из 11 СДС (ГУД ЛАК и 2 самые низкие его значения НЕПЕС РУС и ЭНЕРГОМ), имеющих самое высокое и низкие значения $K_{\text{пэо}}$.

Максимальное значение коэффициента $K_{\text{пэо}}$ у офисных светильников практически такое же [А4], что и у ранее известных светодиодных ламп [А2]. Сравнительно пропорциональное распределение светильников разного предназначения (промышленных и офисных) и близкие предельные значения $K_{\text{пэо}}$ свидетельствует о правомерности применения разработанного метода (р. 2.1.3) для отбора группы светильников для второго этапа и последующего их анализа и испытания по вышеописанному алгоритму. Быстрота оценки СДС без привлечения вычислительной техники свидетельствует о целесообразности его широкого применения на практике.

Следует отметить, что полученные на первом этапе результаты необходимо использовать преимущественно для последующего анализа качества светильников. Если в ранее представленных публикациях других авторов, посвященных определению рейтингов офисных, уличных, промышленных и ЖКХ светильников, соотношение между итоговыми

баллами хороших и малоудовлетворительных светильников не превышало 1,5, то при использовании предложенной методики соотношение составляет порядка 5-10. Второй подэтап первого этапа достаточно трудоемкий. Для его выполнения требуется до 8 часов рабочего дня. Для ускорения анализа по полной программе его зачастую можно избежать. Тогда время на проведение первого этапа может быть сокращен до 1,0-1,5 ч.

По итогам двух подэтапов оценки светильников остается для последующего анализа порядка 60-70 % исходного объема выборки. Вышеизложенное позволяет прийти к следующим заключениям:

1. Продолженная апробация предложенного метода экспертной оценки светодиодной продукции подтверждает высокую эффективность его применения на первом этапе ее экспертизы.

2. Предложенная методика оценки эффективности светодиодных ламп и светильников не требует привлечения экспертов и обеспечивает более высокую достоверность результатов.

2.2. Сравнение технических параметров светодиодных осветительных приборов с их критериальными значениями – второй этап анализа и контроля

2.2.1. Разработка методики и определение критериальных значений параметров светодиодных осветительных приборов

Светотехническая промышленность выпускает светодиодные лампы и светильники разных типов. Методики их интегральной экспертной оценки до настоящего времени остаются весьма слабо разработанными, поскольку в тщательном независимом контроле качества светильников на этапе их реализации не заинтересованы ни разработчики, ни дистрибьюторы. Это можно объяснить также отсутствием достаточных знаний у современного потребителя в вопросах контроля качества.

Первоначальная сравнительная оценка светильников многими потребителями зачастую осуществляется не более, чем 1-3 параметрами, например по мощности, по эквивалентной мощности и цене, реже по мощности, цене и световому потоку или в других сочетаниях. Этого далеко недостаточно для достоверной оценки качества изделия. Сравнение СОП должно осуществляться с учетом большего количества параметров. Однако их нормативы пока отсутствуют. Поэтому имеется необходимость на данном этапе в разработке критериальных значений основных и дополнительных параметров.

Следует отметить, что **под критериальными значениями параметров СОП в данной работе приняты среднеарифметические значения вычисленные при объемах их выборок 25-35.** При этом предпочтение отдавалось техническим параметрам известных фирм (Световые технологии, Светлана-оптоэлектроника, Ферекс, Фокус, Ledel, Vartop и др.). Такой объем вполне позволяет получить представление о критериальных значениях рассматриваемых параметров СОП на определенный период времени и использовать для дальнейшего их отбора. Эти критериальные параметры будут приближенными, но они достаточно характеризуют СОП, так как формируются на базе данных фирм с высоким и хорошим брендом.

Критериальные значения светоотдачи

Одним из важных показателей энергоэффективности светильника, является его светоотдача, которая во многом определяется светоотдачей используемых в них светодиодов [11, 48, 49]. Прежде всего, следует отметить, что большинство разработчиков не указывают в каталогах этот показатель, что несколько затрудняет оперативное ознакомление со светильниками на этапе их представления, например, на выставках или в специализированных магазинах. Создается впечатление, что это нередко

делается осмысленно, так и в силу недооценки значимости данного параметра.

Так, светильники, изготовленные с использованием источников света с достаточно высокой энергоэффективностью, могут уступать светильникам, в которых используются менее эффективные источники света. Поэтому сравнение разных светильников с соизмеримыми мощностями следует осуществлять не по энергоэффективности используемых в них типов источников света (ламп и светодиодов), а непосредственно по их собственной энергоэффективности.

В литературе приводятся исключительно единичные и неоднозначные сведения о предельно-достижимой светоотдаче. Один автор, не указывая первоисточник, приводит предельно достижимое значение равным 303 лм/Вт [62], а второй, не приводя своих расчетов, приводит значительно меньшую величину, равную 254 лм/Вт [122]. Других сведений не встретили. Проведя расчеты на основе данных многих фирм о мощности и световом потоке, установлено, что на 1.03.2016 года у отдельных светильников светоотдача уже достигает 130-150 лм/Вт.

На основе обработки выборки объемом 30 СОП получено, что критериальным значением светоотдачи является 90-100 лм/Вт, которым обладают многие светильники, относимые к хорошим.

Критериальные значения спада освещенности светодиодных осветительных приборов

Согласно проведенным измерениям (р. 3.1.3) получено, что максимальный спад составляет у СДЛ 23%, у промышленных светильников – 7%, а у офисных светильников - 5%. Среднеарифметические значения этих типов СОП соответственно равны 13, 5 и 2,5 %, которые можно в дальнейшем принять за критериальные. Данные результаты в дальнейшем нашли подтверждение в [103]. Спад светового потока у их СДЛ находится в тех же пределах (4-24 %).

Критериальные значения коэффициента пульсации освещенности

Маломощные лампы с емкостным стабилизатором обеспечивают коэффициент пульсации порядка до 13% (табл. 3.4), а с электронным драйвером до 0-4 % (табл. 3.5). Большинство современных офисных, промышленных СДС и даже СДЛ обеспечивают пульсации светового потока на уровне 1% [77].

Согласно Санитарным нормам [24] допустимый коэффициент пульсации освещенности в зависимости от условий работы находится в пределах 5-20%. Поскольку чувствительность глаза на частоте 100 Гц в 50-100 раз меньше, то абсолютное значение пульсации освещенности составляет менее 0,01-0,001 доли видимой освещенности. Вероятно, по этой причине данный показатель за рубежом вообще не нормируется и это остается вне критики наших светотехников.

Уменьшение коэффициента пульсации освещенности значительно ниже нижнего санитарного порога (<5%) является не целесообразным, так как это в той или иной степени удорожает конструкцию электронного драйвера, а с другой стороны сдерживает производство бездрайверных СОП.

Производители по существу состязаются между собой в снижении коэффициента пульсации, добившись его снижения до уровня разрешающей способности пульсметра (0,18%). Исходя из этого все типы СОП со значением коэффициента пульсации мене 5% должны быть отнесены к хорошим и это значение может быть взято в качестве критериального.

Удельные критериальные значения массы СДС

Предельно достижимое значение массы СДС составляет на сегодня 40-50 г/Вт (табл. 2.10). У единичных СДС она еще меньше, что мы относим к промахам. Максимальные его значения в 2-3 раза больше, что характеризует низкий показатель ресурсосбережения.

Из выше рассмотренных статистических материалов (табл. 2.5) и обработке дополнительных данных в качестве критериальных значений

удельной массы промышленных и офисных светильников может быть рекомендовано соответственно значения равное 70 и 100 г/Вт.

Руководствуясь этим параметром, можно заметно способствовать ресурсосбережению, а именно, сократить расход как металла, так и топлива на выработку светового излучения, а также выявить светильники с потенциально меньшим сроком службы.

Поскольку более информативным является световой поток, то имеет смысл в дальнейшем перейти к определению удельной массы приходящейся на 1 лм. Вычисление проведенное на основе данных диссертации позволяет предложить в качестве предельно допустимого значения 0,50 г/лм, а нормативного – 1,2 г/лм.

Обработка данных 35 СДЛ показало, что среднее значение удельной массы составляет 7 г/Вт. Очевидно, этим обусловлен меньший срок службы у СДЛ.

Нормативное значение температуры корпуса светодиодных осветительных приборов

Максимальная температура корпусов светодиодных ламп вне плафонов достигает 65-70, а светильников 55-60 °С и заметно превышает предельно допустимые значения. Высокая температура корпуса связана с повышенной температурой в точке пайки, а в области *p-n* перехода светодиодов, что ведет к сокращению срока службы СОП. Температурный режим работы светодиодных светильников является более облегченными, чем ламп. Очевидно, в силу этого разработчики СДЛ приводят срок службы ламп равной 30000 ч, а для светильников 50000-60000 ч. В качестве критериального значения максимальной температуры для ламп получено 55 °С, а для светильников 50 °С. Данные рекомендации базируются и на результатах измерения температуры корпусов многочисленных СОП, изложенных в р. 3.1.7.

Гарантийный срок и срок службы светодиодных осветительных приборов

Гарантийный срок службы у многих типов СОП находится в пределах от 1 до 5 лет. Имеются единичные сообщения, где гарантийный срок приводится равным 10 лет. Для светодиодных светильников среднее значение составляет порядка 3 года. Для светодиодных ламп приводят значение гарантийного срока равным 1 год и изредка указывают 2 года. Таким образом в качестве критериальных значений для СДЛ примем 1 год, а для СДС – 3 года.

Если срок службы ограничить снижением светового потока на 30 %, то он для СДС составляет 50-60 тысяч часов, а СДЛ - 25-30 тыс. час, что меньше значения срока службы самих СД. Последнее, очевидно, обусловлено недостаточным обеспечением теплоотвода от светодиодов.

Критериальное значение удельной стоимости светового потока

Цена светильника также является не менее важным параметром, определяющим объем внедрения и их окупаемость. Для сравнительной оценки предлагается использовать нормированный показатель цены одного люмена, выражая его в рублях за люмен. Менее точную информацию несет удельная цена 1 ватта и поэтому его следует рассматривать только в качестве вспомогательного и использовать лишь при отсутствии в технических характеристиках сведений о световом потоке.

Наименьшую цену единицы светового потока из энергоэффективных светильников имеют металлогалогенные и натриевые. Им несколько уступают светильники с люминесцентными трубчатыми лампами. Светодиодные светильники по относительной цене пока существенно уступают натриевым, однако это вполне компенсируется большим сроком их службы.

Натриевые светильники имеют самую низкую удельную стоимость, однако, в силу их малого индекса цветопередачи, они могут быть использованы в основном для уличного освещения.

Рекомендуемые значения критериальных параметров
светодиодных светильников

В табл. 2.6 приведены обобщенные значения для ряда основных параметров, которые могут быть рекомендованы в качестве критериальных.

2.6. Рекомендуемые критериальные параметры светодиодных
светильников на 1.03.2016 г.

№	Наименование параметра	Критериальные значения
1	Коэффициент предварительной экспресс-оценки, усл. ед.	90*; 100**; 200***
2	Светоотдача, лм/Вт	90*; 100**; 80***
3	Спад светового потока через 60 минут, %	2,5*; 5,5**; 13***
4	Коэффициент пульсации, %	< 5
5	Цветовая температура, К	4000-4200
6	Индекс цветопередачи	80
7	Цена единицы светового потока, руб/лм	0,60*; 0,70**; 0,30***
8	Удельное значение массы, г/лм	0,7*; 1,0**; 0,2***
9	Удельные значения массы, г/Вт	70*; 100**; 7,0***
10	Температура корпуса, °С	40*; 55**; 60***
11	Гарантийный срок, лет	3*; 3**; 1,0***
12	Коэффициент мощности	0,90*; 0,93**; 0,60***
13	Срок службы, тыс. ч	50*; 50**; 30***

Примечание. 1. Предлагаемые критериальные значения каждые полгода уточнялись в течение 2 лет и справедливы для последнего полугодия.

2. Первое значение в колонке соответствует офисным светодиодным светильникам, второе - уличным и промышленным, а третье – светодиодным лампам.

На данном этапе в условиях промышленных выставок, торговых домов и магазинов можно дополнительно визуально оценить СОП в следующей последовательности:

1. Осуществить визуальной осмотр светильников при включенном их состоянии. Выполнить осмотр конструкции изделия по внешнему виду, дизайну, габаритам и массе.
2. После 30-60 минутного прогрева СДС тактильно-экспозиционным способом определить на ощупь наиболее нагретый участок и приблизительно оценить его температуру.

Примечание. Предварительное приобретение уже небольшого навыка позволяет определять температуру разных участков СДС с вполне удовлетворительной погрешностью (до $\pm 2-3$ °С) в диапазоне 25-70 °С.

При наличии в собственном пользовании смартфона и соответствующего к нему программного обеспечения Light Meter можно оценить уровень обеспечиваемой освещенности на фиксированном расстоянии, цветовую температуру и приближенно уровень пульсации освещенности.

Примечание. Установлено, что цветовую температуру светильника подготовленный эксперт может также успешно оценить визуально с погрешностью до 200-300 К даже при отсутствии образцовых ламп сравнения.

3. Определить по каталогу или оценить по смартфону угол излучения СДС.
4. Выяснить в какой зоне установлен драйвер, какую рабочую температуру он имеет и в каких температурных условиях он работает.

В результате такого анализа имеется возможность получить определенное представление о величине светового потока, коэффициенте пульсации, цветовой температуре, температуре корпуса, ослепленности; выявить фирмы изготовителей светодиодов и светодиодных драйверов.

Разработанные и предложенные критериальные значения основных светотехнических параметров светодиодных осветительных приборов и приемы визуального контроля создают определенную основу для разработки комплексной методики сравнительной оценки качества светильников.

2.2.2. Разработка методики оценки соответствия технических параметров светодиодных осветительных приборов критериальным значениям

Высокие темпы развития светодиодной техники требуют ежегодно пересматривать критериальные значения параметров СОП, которыми следует руководствоваться при их выборе. Такие ориентировочные параметры ранее уже предлагались [А13]. Они с целью уточнения каждые полгода должны уточняться с учетом достижений последнего периода времени.

В соответствии с данной методикой первоначально осуществляется сравнение параметров отобранных СОП относительно критериальных значений и их оценка по двухбалльной шкале (табл. 2.7). На данном этапе разработки метода контроля вполне можно ограничиться двухбалльной шкалой, так как многобалльная система оценки каждого параметра остается в литературе не разработанной (А5). Кроме того, ее применение ограничено отсутствием весовых функций каждого параметра, а попытка применения весовых коэффициентов пока не увенчалась успехом [75]. Последняя задача и не разрешима, так как у каждого потребителя имеются свои предпочтения к значениям сразу нескольких параметров.

Значения полученных баллов для каждого параметра СОП суммируются. Пользователь вправе дополнить табл. 2.8 несколькими своими дополнительными критериальными параметрами, которые для него представляют наибольшую значимость, например IP защита или угол излучения. Порядка половина СОП с наибольшим числом баллов отбирается для проведения третьего этапа анализа.

2.7. Уровень соответствия параметров СОП критериальным значениям на 1.03.2016 г.

№	Наименование параметра	№ СОП						
		1	2	3	4	....	i-1	i
1	Коэффициент предварительной экспресс-оценки, усл. ед.	1	0	0	0	....	1	0
2	Светоотдача, лм/вт	0	1	0	1	....	0	1
3	Цена единицы светового потока, руб/лм	0	0	0	1	....	1	0
4	Цветовая температура, К	1	0	1	1	....	1	1
5	Индекс цветопередачи	1	0	1	0	....	1	1
6	Коэффициент пульсации, %	0	1	0	1	....	1	0
7	Спад светового потока через 1 час, %	1	0	0	1	....	1	0
8	Коэффициент мощности	1	1	1	0	....	1	
9	Удельные значения массы, г/Вт	0	1	0	0	....	1	0
10	Температура корпуса, °С	1	0	0	0	....	1	0
11	Гарантийный срок, года	1	1	1	1	....	1	1
12	Срок службы, тыс. ч	1	1		1	....	1	1
	Итоговый балл	8	6	4	7	....	11	5

=

Данная методика позволяет в отдельных случаях провести оперативно и самостоятельную оценку качества СОП из имеющейся группы, руководствуясь лишь их критериальными значениями.

2.3. Сравнительный анализ отобранных светильников на основе изучения их технических паспортов и дополнительной документации – третий этап анализа и контроля

Работа проводится с документацией фирм в условиях лаборатории и носит теоретический характер. Подробно изучаются технические паспорта СДС, содержание каталогов, информация в Интернете о фирме, запрашивается дополнительная необходимая информация о фирмах изготовителях изделий и их комплектующих.

Теоретический анализ следует выполнять в следующей последовательности:

1. Выяснить какой фирмы использованы в светильнике СД. Определить входит ли данная фирма в число ведущих производителей мира.
2. Выяснить кто является реальным производителем СДС – отечественный или зарубежный его бренд.
3. Выяснить какой фирмы драйвером оснащен светильник, входит ли фирма в число ведущих производителей, с каким гарантийным сроком и сроком службы установлен в СДС драйвер. Выяснить в каком месте СДС в тепловом отношении установлен драйвер.
5. Связаться с фирмами изготовителями для получения дополнительной необходимой информации.
6. Сопоставить характеристики изученного изделия с изделиями других фирм.

Просмотрев и проанализировав детально каталог каждой фирмы, можно получить большую информацию о фирме изготовителе, уровне его специалистов, а соответственно косвенно и о качестве СДС. Третий этап анализа дополнительно расширит представление о СДС, но этого еще недостаточно для полной оценки его качества. Необходимо далее провести испытания отобранных светильников ряда фирм, что позволит осуществить более объективную их сравнительную оценку.

Ниже приводятся два примера детального анализа СОП, раскрывающие дальнейшие возможности аналитических исследований.

2.3.1. Методика и контроль качества светодиодных светильников и ламп на основе прогностической оценки срока их службы

Анализ заявленных сроков службы с учетом отдельных других параметров, например температуры корпуса или в точке пайки СД, позволяет прогнозировать реальный срок службы светодиодных осветительных приборов. В табл. 2.8 представлены некоторые характеристики СДС и СДЛ ряда фирм.

2.8. Характеристика светодиодных осветительных приборов ряда фирм

Фирма	Тип, модель	Потребл. мощность, Вт	Диапазон рабочих температур, °С	Срок службы, тыс. час.	
С Д С	GoodLight	GL-ARMSTRO NG	10~38	-40 ~+55	50
		GL-ARMSTRO NG-OPEN			
		GL-MAKSI			
	LITEWEL L	LED-GS/SD	3.5~75	-5 ~+40	45
		LED-NXX			
		LED-FOX			
	PROLUX	SL	30~300	0~70	70
		PL	28~45	-40~+50	
		PL-D, PL-M	11~28		0~70	40
		WL	8~12		
	Langfang	IM-LD-ST-XX-XX	60~360	-45~50	50
		IM-LD-IN-XX-XX	30~200		
IM-LD-HO-XX-XX		1~40	-20~50		

	«Арис-ПРО»	RL-01	50~100	-40~40	50
		RL-02	65		
		RL-10	25	-10~40	
		RL-23	25	-40~40	
		RL-25	12~60		
	Ecola-light	GX70 LED	7.3~10		30
		MR 16 M2LW42EL C	4.2		
	«Бай-тэлек»	Опух LED	15~78	-40~40	50
		Опух LED LINE	60	-40~40	
		Corus LED 12	15	-40~40	
	Marella	DNR	12~22	-15~50	30
		LNR	12~22	-15~50	30
	SvetaLED	iDom	16	+1~+40	50
		iBig	55	-----	
		TNC-X-40	55	-30~+55	20
		iStrong85	47	+1~+40	20
	ESTARES	DL-11(DL-10-3014-220V)	10	-30~+40	50
		DL-14	15.5		
		DL-18-300 × 300	18		
	С Д Л	СДЛ-НС, СДЛ-КС		30~107	-40~40	50
		GX53T5MW 42ELC	4.2		
		Z7NW95EL C	9.5		
		Z7NV95ELC	12		
«ВИТОР УС»		LEDONE	3		30
ELVAN		E14	2~12	-	-
		LUMIA 63	6		25000

	ТАХО-ЦЕНТР	LED01	3	-20~+60	-
		LED02	5		-
	Светлана-оптоэлектроника	SvetaLED	8		100

Заявленные сроки службы СДС и СДЛ практически во многих случаях представлены равными сроком службы СД лучших мировых фирм (50000 ч), что указывает на завышенность их значений. Однако, срок их службы определяет срок службы драйверов, который пока меньше срока службы светодиодного кластера.

Срок службы светильника зависит от многих факторов: от величины отклонения рабочего тока от номинального, значения удельной площади ($\text{см}^2/\text{Вт}$), количества СД в кластере и их светоотдачи, удельной массы и конструкции радиатора, а также от срока службы вторичной оптики, типа и КПД используемого драйвера, технологии изготовления светильника, места размещения драйвера и температуры окружающей среды. Все это сказывается на рабочей температуре $p-n$ перехода светодиодов, что в свою очередь определяет срок службы светильника.

Из приведенной табл. 2.8 также видно, что значения срока службы СДС практически не коррелирует ни с их мощностью, ни с предельно допустимой температурой окружающей среды. Поскольку изготовление СД в свою очередь осуществляется из ряда комплектующих (полупроводникового чипа, полимера, контактов, припоя) разных поставщиков с разной степенью соблюдения качества их изготовления, то и срок их службы также не может быть одинаковым.

Наличие высокого совпадения в указываемых сроках службы разных типов СДС И СДЛ кроется в том, что ни один разработчик формально не хочет уступать друг другу в представлении значения данного параметра в технических паспортах. В последнее время в технической документации СД

наряду с заявленным сроком их службы приводятся также расчетные сроки. Так, если заявленный срок службы для лампы XLamp XP-G White равен 51400 ч, то расчетный указан равным 363000 ч. Однако следует иметь в виду, что оба показателя являются только расчетными и получены на основе экстраполяции результатов испытаний выполненных лишь на протяжении небольшого интервала времени, равного 8568 ч [35]. Дополнительно проведенный анализ экспериментальных данных фирмы CREE показывает, что по истечении 8568 ч световой поток СД снижается лишь на 1,5-2,0 %. Такой уровень снижения светового потока не позволяет с достаточной точностью осуществить аппроксимацию данных с последующей экстраполяцией искомого результата до 100 тыс. ч. и даже 360 тыс. ч. Последний параметр далеко не подтвержден и скорее предназначен для разработчиков светильников в рекламных целях. Установление срока службы СДС только исходя из срока службы СД является ошибочным. Поскольку имеется различие не только в конструкциях СДС, но и в сроках службы используемых СД, то это не позволяет с достаточной достоверностью судить о сроке службы каждого типа СДС. По этим причинам большинство пользователей также не в состоянии проконтролировать срок службы светильников и обычно доверяется значениям, заявляемым фирмами.

Таким образом, для предоставления потребителю более точной информации о сроке службы светильника производители должны проводить испытания своих изделий на предмет их деградации с последующим указанием полученных значений в каталогах. Вместе с тем, поскольку испытания СДС на основе существующей методики ТМ-21 комитета IES и LM-79 [35] являются длительными и далеко не совершенными, то для характеристики срока службы СДС необходимо изыскать ускоренные методы, длительность которых не превышала бы 1,5–3 месяцев. Согласно нашим методическим разработкам, применяя два разнесенных значения силы

тока, но близких к запредельным, длительность определения срока службы СД и светодиодных кластеров СДС можно сократить до 1000-1500 ч.

Для пользователей, и особенно для эксплуатационников, важно производителям в техническом паспорте приводить не только срок службы СДС, но и среднее время наработки до первого отказа, а также сведения о наименее надежных его блоках. Поскольку срок службы драйвера потенциально меньше срока службы светодиодного кластера, то экспертную оценку СДС следует проводить также с учетом его надежности и ремонтпригодности, что практически не предусматривается целым рядом разработчиков осветительных устройств.

2.3.2. Вычисление дополнительных параметров офисных и промышленных светодиодных светильников ряда производителей

В качестве предмета анализа был взят светильник фирмы «Ферекс», имевшие сравнительно высокие технико-экономические показатели на 2012 год.

В представленной табл. 2.9 приведены значения массы (m) и ее удельного массы γ_m (г/Вт) как для офисных, так и промышленных светильников разной мощности.

Результаты статистической обработки данных показывают, что среднее значение γ_m промышленных светильников марок ДСП и ДКУ, принимаемое за нормативное, равно $52 \pm 12/13$ г/Вт, что в 2 раза меньше значения, предложенного в [90].

Для офисных светодиодных светильников типа ССВ с учетом их мощности получены следующие значения γ_m : для 30 Вт оно равно 100 г/Вт, 36-38 Вт – 94 г/Вт, 41-44 Вт – 75 г/Вт. Из этих данных следует, что с повышением мощности офисного светильника металлоемкость его несколько снижается. Это вызвано тем, что используется один и тот же корпус для светильников разной мощности при наличии определенного запаса по

теплоотведению. Вместе с тем, следует отметить, что в пределах последней группы имеются такие светильники, удельное значение массы которых (57 г/Вт) не уступает значению промышленных светильников. Следовательно, в качестве нормативного значения удельной массы разных типов светодиодных светильников может быть принято значение, равное 50 г/Вт.

В табл. 2.10 представлены также значения световых потоков рассмотренных источников света, которые позволяют вычислить основной информативный и интегральный их показатель – светоотдачу. Она у офисных светильников составляет 75-85, а у промышленных - 82-84 лм/Вт, то есть имеет соизмеримые значения.

2.9. Значения ряда параметров у светильников фирмы «Ферекс»

(по данным на 2012 год)

Тип СДС	m, кг	P, Вт	Φ, лм	η*, лм/Вт	m/P*, г/Вт	m/Φ*, г/лм
ССВ-30/2700	3,5	30	2700	90	117	1,3
ССВ-30/2160	2,5	30	2160	72	83	1,2
ССВ-30/2450	3,5	30	2450	82	117	1,4
ССВ-30/1700	2,5	30	1700	57	83	1,5
				75±14/19	100±19/19	1,3±0,13/9,6
ССВ-36/3300	3,5	36	3300	92	97	1,1
ССВ-36/3035	3,5	36	3035	84	97	1,2
ССВ-38/3230	3,5	38	3230	85	92	1,1
ССВ-38/2930	3,5	38	2930	77	92	1,2
				85±6,1/7,3	94±2,9/3,0	1,1±0,06/5,0
ССВ-41/3100	3,5	41	3100	76	86	1,1
ССВ-41/2850	3,5	41	2850	70	86	1,2

ССВ-42/3510	3,5	42	3510	84	83	1,0
ССВ-42/3280	3,5	42	3230	77	83	1,1
ССВ-44/3850	3,5	44	3850	88	79	0,91
ССВ-44/3680	3,5	44	3680	84	79	0,95
ССВ-44/3360	2,5	44	3360	76	57	0,75
ССВ-44/2700	2,5	44	2700	61	57	0,93
ССК-44/3680	2,5	44	3680	84	57	0,68
				78±8,4/11	74±13/18	0,96 ± 0,17/18
ДСП 01-24-50	1,3	24	2200	92	54	0,59
ДСП 02-24-50	1,3	24	1770	74	54	0,73
ДСП 01-48-50	2,1	48	4409	92	44	0,48
ДСО 02-48-50	2,1	48	3350	70	47	0,63
				82±12/14	50±5,1/10	0,61± 0,10/17
ДКУ 01-85-50	6,0	85	7200	85	71	0,83
ДСП 01-140	6,5	140	11700	84	46	0,56
ДСП 01-140	6,5	140	12050	86	46	0,54
ДКУ 01-170	8,0	170	14050	83	47	0,57
				84±1,3/1,5	52±12/23	0,62± 0,13/22

* - вычисленные данные

В каталоге фирмы «ТД ФЕРЕКС» на 1.11.2014 г. средние значения светоотдачи номенклатуры промышленных светильников достигают уже 102 лм/Вт (табл. 2.3). Это обеспечено за счет применения более эффективных СД фирмы Nichia. Значения рассмотренных выборок всех типов светильников являются достоверными ($P > 0,99-0,999$).

У уличных и промышленных светильников значение γ_m почти в 2 раза меньше, чем у офисных мощностью 30-38 Вт ($P > 0,95-0,99$). Это свидетельствует с одной стороны о том, что у офисных светильников имеется определенный резерв по ресурсосбережению, а с другой стороны у них меньше перегружены СД. Следовательно, у мощных СДС должно иметь место некоторое снижение срока службы.

Вариабельность значения удельной массы находится в пределах 3-23 %, а средние значения γ_m получены с высокой достоверностью ($P > 0,99-0,999$).

У офисных светодиодных светильников средние значения удельной массы составляет 1,0-1,3 г/лм, а у промышленных и уличных практически в 2 раза меньше (0,61-0,62 г/лм).

2.3.3. Сравнение заявленных и измеренных параметров светодиодных ламп

Степень допускаемых отклонений приводимых в технических паспортах СОП значений светового потока, потребляемой мощности, цветовой температуры и индекса цветопередачи можно также получить на основе обработки данных [77], результаты которых представлены в табл. 2.10.

2.10. Уровень завышения потребляемой мощности светодиодных ламп и характеристика коэффициента мощности

№	Тип лампы	Заявленная мощность, Вт	Измеренная мощность, Вт	Уровень завышения, %	Коэффициент мощности		Коэффициент пульсации, %
					измер.	ГОСТ Р55705-2013	
1	Gertz	17	12	42	0,67		< 1,0
2	Geniled	16	13	23	0,64		

3	ЭРА	13	12	8,0	0,96	>0,85	11
4	Geniled	12	11	9,1	0,66		< 1,0
5	Gertz	11	8,6	30	0,82		< 1,0
6	ASD	11	9,1	21	0,53		
7	Camelion	10	9,1	21	0,67		
8	Geniled	10	9,6	4,1	0,63		11
9	Philips	10	8,9	12	0,74		
10	Geniled	9	6,8	32	0,70		
11	Philips	8	7,8	2,6	0,92		23
12	СДЛ-206	8			0,27		
13	ЭРА - эконом	8	6,0	33	0,61	30	
14	Camelion	8					
15	ЭРА (старая серия)	7	6,2	13	0,75	< 1,0	
16	ЭРА (новая серия)	7	6,5	8,0	0,62	< 1,0	
17	Geniled	7	6,0	17	0,86	> 0,70	
18	«Включай»	5,5	4,0	37	0,66	<1,0	
19	ЭРА (E27)	6	4,0	50	0,53		
20	ЭРА (E14)	6	4,1	46	0,42		
21	LunaLux	6	5,9	1,7	0,74		
22	Estares	5,5	4,7	17	0,82	< 1,0	
23	Geniled	5	4,7	6,4	0,64	< 1,0	
25	Geniled	5	4,9	2,1	0,63	< 1,0	

	evo					
26	ASD	5	3,8	32	0,21	< 1,0
27	Gauss	5	4,8	4,2	0,65	1,0

2.11. Отклонения ряда измеренных значений параметров промышленных светильников относительно заявленных

№	Наименование фирмы	Отклонение, %				σ
		Световой поток	Потребл. мощность	Цветовая температура	Индекс цвето-передачи	
1	НЬЮЛАЙТ	0	+1	+9	0	2,5
2	ФЕРЕКС	0	-1	-6	-4	2,7
3	Четыре света	+2	-1	-2	-6	2,8
4	БЗПП	-7	+2	-3	0	3,0
5	«Эско» Новый свет»	+2,5	-3	+7	0	3,1
6	ЛАМПИРИС	-3	+3	-3	+4	3,3
7	Эколайт	0	-2	0	-12	3,5
8	Uniel	+5	-5	0	-4	3,5
9	БЗЭТ	-20	0	0	0	5,0
10	Связьинвест	-6	-11	+4	-3	6,0
11	Светтехсервис	-22	-2	-5	-1,5	7,6
12	LUXON	-5	-10	+18	0	8,2
13	ФИЗТЕХ-ЭНЕРГО	-19	-9	-11	0	8,8
14	ГРИНЭЖ	-17	-4	+8	-6	9,7
15	АТОН	-25	-12	+7	-3	11,8

Как следует из табл. 2.10 до 30 % фирм завышают значения светового потока и мощность на 10-25 % у промышленных светильников и ламп,, цветовой температуру на 10-20%, а индекс цветопередачи на 5-10 %.

Коэффициент пульсации освещенности у 65 % фирм имеет значения менее 1% и только у 3 фирм оно достигает 9,5 и 24 %. Это свидетельствует о том, что данный параметр по информативной значимости на сегодня уже существенно уступает другим.

Из 15 фирм лишь у 4 отклонения всех 4 измеренных параметров не превышают 6 %, что соизмеримо с погрешностью измерителей и методик измерения ИЦ ВНИСИ. Среди них в среднем наиболее точно данные параметров представлены фирмами БЗПП и «ТД «Ферекс», причем у второй фирмы СКО в 1,7 меньше чем у первой. Среднее арифметическое значение у хороших СДС не превышает 3,0-3,5 %.

Значения светового потока у 35 % офисных СДС [79] установлено меньше заявленных значений на 10-25%, то есть проявляется та же тенденция, что и у промышленных СДС.

Согласно нашим результатам измерений (табл. 3.2) заявленные значения углов излучения на 20-30% выше измеренных нами в Испытательной лаборатории Мордовского государственного университета.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о необходимости проведения предварительного контроля качества СДЛ и предъявления определенных рекламаций к фирмам и дистрибьюторам, нацеленных на уточнение предъявляемых покупателю технических характеристик СДЛ.

Неудовлетворительно представлены технические параметры ламп также на их упаковках. Так, на упаковке первой отечественной СДЛ ЗАО «Светлана-оптоэлектроника», представленной для реализации, гарантийный срок на верхней и боковой стенке ошибочно приводится равным 10 лет, а на нижней указывается значительно меньший срок, равный 3 годам. Для СДЛ «Geniled» указывается гарантийный срок всего 2 года при сроке их службы, равном 20 лет.

На протяжении одного года тестированию и испытанию подвергнуты СДЛ торговых марок «Geniled», «Gayss», «Veribrait» и ЗАО «Светлана-оптоэлектроника» мощностью от 3 до 15 Вт. У лампы «Geniled» 9W указан угол рассеивания равный, 200° , а в действительности он равен лишь 130° , чем объясняется более высокое значение осевой освещенности.

В результате проведенной работы установлено наличие несоответствия между заявленными и измеренными значениями мощности, светового потока, углами рассеивания света СДЛ. В большинстве случаев заявленная мощность и световые потоки СДЛ на 15-30 % выше измеренных. Их эквивалентная мощность лампе накапливания ($P_{\text{экв}}$) составила от 25 до 150 Вт.

Примечание. Многие пользователи, используя ряд приборов (люксметр-пульсметр, измеритель качества электричества, ваттметр, электротермометр, ЛАТР), в состоянии определить такие параметры как освещенность на оптической оси, эквивалентную мощность лампе накаливания, коэффициент пульсации, коэффициент мощности, коэффициент потери мощности, температуру наиболее нагретых участков, удельную массу; проверить принадлежность драйвера заявленной фирме-изготовителю.

Дополнительную информацию о СДС можно получить при изменении напряжения питания и температуры в испытательной камере в широких пределах, то есть, используя принципы динамической светотехники.

2.3.4. Методика и контроль качества светодиодных светильников и ламп по уровню унификации наименований параметров и последовательности представления их в перечне технических характеристик

Анализ каталогов современных светильников и их технической документации показывает, что для характеристики СОП обычно применяется до 7-10 параметров, которые можно отнести к основным. При этом отсутствует унификация наименований этих параметров, а также последовательность их представления в перечне.

Анализ последовательности представления параметров в каталогах и технических паспортах и приводимый их перечень можно использовать в качестве дополнительных информативных показателей для косвенной характеристики уровня производителя и качества выпускаемых изделий.

В работе на основе анализа содержания более 100 каталогов отечественных и зарубежных фирм установлено, что для характеристики светодиодных светильников используется до 75 разных параметров.

В табл. 2.12 первоначально для наглядности приведен перечень наименований для четырех широко применяемых параметров – напряжения питания, мощности, светоотдачи и цветовой температуры. В ней первыми приведены те краткие наименования параметров, которые рекомендуются нами для дальнейшего применения в качестве базовых. Остальные приведенные наименования либо меньше раскрывают предназначение каждого параметра, либо менее лаконичны, либо реже находят применение.

Отсутствие унифицированной формы и методологии представления параметров светильников затрудняет оперативное ознакомление с их техническими характеристиками и проведение сравнительного анализа в условиях промышленных выставок и торговых домов. Наименования целого ряда параметров следует приводить в краткой форме. Так, например, коэффициент пульсации освещенности и активную потребляемую мощность целесообразно для лаконичности изложения именовать, соответственно, в виде «коэффициент пульсации» и «мощность».

2.12. Пример использования в литературе разных наименований для четырех светодиодных параметров

№	Параметр	Фирма	№	Параметр	Фирма
1	<u>Напряжение питания, В</u>	Оптогон	1	<u>Мощность, Вт</u>	Lumen
2	Напряжение питания сети, В	Econex	2	Фактическая потребляемая, Вт	ВолгаСвето-Сервис
3	Номинальное напряжение, В	Belimo	3	Номинальная потребляемая	Феррекс

				мощность, Вт	
4	Напряжение на лампе, В	GE Lighting		4 Потребляемая мощность в номинальном режиме, Вт	Arligh
5	Напряжение питания постоянного тока, В	ИнноЛед-Свет		Потребляемая мощность, Вт	Оптоган
6	Напряжение, В	Лисма		6 Текущая мощность, Вт	Lumen
7	Входное напряжение, В	Uniel		7 Новая максимальная мощность, Вт	Lumen
8	Режим, В	Lumen		8 Мощность активная, Вт	Фокус
9	Выходное напряжение, В			9 Мощность фактически потребляемая, Вт	Eflight Фокус Лайт
10	Рабочее напряжение, В				
11	Напряжение в сети, В				
1	Световая отдача, лм/Вт (<u>светоотдача</u>)	Lumen		1 <u>Цветовая температура</u>	Оптогон
2	Номинальная светоотдача, лм/Вт	Фаворит		2 Температура света, К	СвязьИнвест
3	Эффективная (зрительная) светоотдача (Рлм/Вт)	Фаворит		3 Диапазон цветовых температур, К	Есопах
4	Энергоэффективность, лм/Вт	Luex		4 Коррелированная цветовая температура (КСС)	Светланаопто электроника
5	Эффективность светильника, лм/Вт	Фокус		5 Цвет	Lumen
6	Световая эффективность, лм/Вт	СвязьИнв.		6 Цветовая температура, $T_{цв}$	Arligh
7	Спектральная световая эффективность, лм/Вт	Эконекст		7 Цветовая температура, $T_{цв}$	OSRAM
8	Энергетическая эффективность, лм/Вт			8 Температура свечения	LED.si
				9 Цветовой код	Ардатовский светотехн. завод

Примечание. 1. Наименования ряда параметров приводятся без их размерности, то есть так как приводят фирмы.

2. Подчеркнуты рекомендуемые наименования параметров.

В табл. 2.13. системно представлено количество наименований применяемых в литературе для основных параметров. Из нее следует, что для

первых 12 широко применяемых параметров находят применение от 3 до 11 наименований. Такое разнообразие терминов препятствует также выработке единой последовательности представления параметров в каталогах. Отсутствие унифицированной формы и методологии представления параметров светильников существенно увеличивает время ознакомления с их техническими характеристиками и проведению сравнительного анализа.

2.13. Перечень наименований параметров светодиодных светильников и количество используемых их синонимов

№	Рекомендуемое наименование параметра	Количество используемых наименований
1	Напряжение, В	11
2	Мощность, Вт	9
3	Цветовая температура, К	9
4	Светоотдача, лм/Вт	8
5	Угол излучения, град.	6
6	Коэффициент пульсации, %	5
7	Индекс светопередачи (Ra)	4
8	Коэффициент мощности	4
9	Температура окружающей среды, град.	4
10	Срок службы, лет	3
11	Гарантийный срок, год	3
12	Габариты, мм	3

Потребитель традиционно первоначальную оценку характеристик накаливаемых и газоразрядных ламп начинает осуществлять по их мощности, заведомо представляя тот уровень освещенности, которую они могут обеспечить. Такой же подход должен проявляться к первоначальной характеристике светодиодных ламп и светильников, поскольку вскоре

наступит время, когда потребитель будет хорошо ориентироваться в выборе светильника по значению его мощности. Поэтому в перечне (табл. 2.14) первым параметром следует приводить потребляемую активную мощность светильника, именуя его сокращенно «мощность».

Следующим параметром в перечне целесообразно приводить световую эффективность СДС, то есть его светоотдачу (лм/Вт), несмотря на то, что большинство производителей в техническом паспорте СДС до настоящего времени в числе первых параметров подсознательно, традиционно или по недостаточной квалификации приводят значение светового потока. Этот параметр при первоначальном ознакомлении с содержанием каталога несет лишь предварительную информацию о СДС. Световой поток для пользователя является лишь относительной характеристикой СДС, поскольку нормируется не световой поток, а обеспечиваемая им освещенность, которая в свою очередь определяется углом его излучения и высотой подвеса. К его недостатку следует отнести также то, что, с одной стороны, многие производители не могут измерить световой поток в силу отсутствия у них дорогостоящей аппаратуры и сложности методики его измерения, а с другой стороны, потребитель не может ощутить величину этого параметра. Так, пользователь не в состоянии отличить световой поток, например, равный 11000 лк от 13000 или 15000 лк. Следует иметь в виду, что чем больше величина светового потока выше нормируемой освещенности, тем сложнее визуально определить его значение.

Имеются и такие фирмы, которые в техническом паспорте СДС приводят либо значение мощности, либо светового потока, что не позволяет пользователю оценить световую эффективность светильника. Только в совокупности светового потока с мощностью можно судить о большей энергоэффективности одного СДС относительно другого.

Для количественной характеристики СДС требуется проводить вычисления значения их светоотдачи и только по ним можно в

сравнительном плане говорить об энергоэффективности того или иного светильника, а при необходимости определения его светового потока проектировщикам следует лишь значение мощности умножить на световую отдачу.

Эффективность освещения объектов, рабочей поверхности и использования светового потока оценивается по уровню обеспечиваемой освещенности в люксах, измеряемой люксметром. При фиксированных значениях мощности, светового потока и высоты подвеса СДС освещенность определяется углом его излучения и характером кривой силы света. При учете освещенности на оптической оси и углов излучения можно вполне провести сравнения световых потоков двух СОП.

Поэтому следует иметь сведения об угле излучения СДС. В первом приближении этого достаточно, хотя более детальную оценку дает только кривая силы света или так называемая диаграмма излучения СДС, обычно используемая только при расчетах светотехнических систем.

Получив представление о СДС по первым его 4 параметрам, можно уже перейти к оценке качества света. Для этого необходимо, прежде всего, иметь сведения о коррелированной цветовой температуре СДС, которую нередко кратко именуют цветовой температурой. Цветовая температура - это один из первых показателей качества света, который легко может быть оценен пользователем.

Пульсации светового потока пропорционально вызывают пульсации освещенности и согласно литературных данных большой его уровень в течение рабочего дня вызывает утомление, снижение производительности труда и увеличение производственного брака. В соответствии с санитарными правилами и нормами коэффициент пульсации должен быть не более 20% [24]. Большинство СДЛ и СДС обычно удовлетворяют этим требованиям. Поскольку многие производители уже достигли уровня пульсации освещенности менее 10 %, то его значимость в перечне должна снижаться.

Однако на величину данного параметра пользователи все еще продолжают обращать большое внимание. В перечне вполне допустимо этот параметр именовать сокращенно в виде коэффициента пульсации.

Для дальнейшей цветовой характеристики СДС применяют параметр индекс цветопередачи (R_a). Его измерение возможно лишь в светотехнической лаборатории. Визуально оценить индекс цветопередачи СДС при его приобретении даже с погрешностью 20-25% практически невозможно и поэтому пользователю приходится доверяться заявляемым фирмой значениям.

Если сопоставить такие светотехнические параметры, как индекс цветопередачи и коэффициент пульсации освещенности, то более важным с психофизиологической точки зрения является первое. Поэтому в перечне параметров рекомендуется вначале приводить индекс цветопередачи, а затем коэффициент пульсации освещенности.

В целом, для практических целей представляет интерес 24 параметра. Однако во избежание загромождения содержания каталогов все выделенные параметры подразделены на основные и дополнительные. В табл. 2.15 представлена унифицированная последовательность их представления.

Определенная роль при выборе светильника уделяется степени защиты светильника от окружающей среды. Коэффициент мощности представляет меньший интерес пользователю, так как он необходим лишь проектировщикам новых осветительных систем, поскольку владельцы уже эксплуатируемых систем не оплачивают реактивную составляющую электроэнергии. Вместе с тем, поскольку требования к данному параметру нормируются в ГОСТ Р 55705-2013 [24], то потребитель в определенной степени при оценке СДС должен уделять ему внимание.

2.14. Рекомендуемые наименования основных и дополнительных параметров светодиодных светильников и последовательность их представления

№	Рекомендуемое наименование основных параметров	№	Рекомендуемое наименование дополнительных параметров
1	Мощность, Вт	1	Световой поток, лм
2	Светоотдача, лм/Вт	2	Спад светового потока за 10 мин, %
3	Освещенность при высоте подвеса 2 м, лк	3	Температура эксплуатации, °С
4	Угол излучения в двух основных плоскостях, град.	4	Максимальная температура корпуса, °С
5	Цветовая температура, К	5	Удельная стоимость, руб/лм
6	Индекс светопередачи (Ra)	6	Напряжение питания, В
7	Коэффициент пульсации, %	7	Светодиоды фирмы
8	Степень защиты корпуса (IP)	8	Вид климатического исполнения
9	Коэффициент мощности	9	Коэффициент предварительной экспресс-оценки эффективности
10	Срок службы, лет	10	Класс защиты от поражения электротоком
11	Гарантийный срок, год	11	Габариты, мм
12	Масса, кг	12	Удельная масса, г/Вт

При знакомстве с техническими характеристиками потребителя вначале волнует срок службы СДС и уже только на следующем этапе он задается вопросом о гарантийном сроке и далее об окупаемости. По логике, оценив срок службы СДС, следующим этапом он переходит к оценке гарантийного срока и массы, которые можно также отнести к основным.

Остальные характеристики светильника, такие как тип крепления, тип цоколя, степень защиты (IP), материал колбы и защита стекла, вид

климатического исполнения, механическая прочность, материал рассеивателя, неравномерность потока, тип диаграммы направленности можно в рабочем порядке оперативно выяснить по запросу у его разработчика или у дилера. Поэтому они отнесены к дополнительным.

Для экономической характеристики СДЛ и СДС целесообразно использовать цену одного люмена (руб/лм), а также срок его окупаемости [А14; 99]. Информативным параметром СДС может служить также удельная площадь используемого кластера с радиатором ($\text{см}^2/\text{Вт}$), которая позволяет приблизительно оценить адекватность конструкции радиатора и далее по нему уровень обеспечения ресурсосбережения, уровень теплоотдачи и прогнозировать срок его службы.

Некоторые вопросы важны потребителю при приобретении светильников, другие важны эксплуатационникам, а третьи – проектировщикам. Интерес представляют и целый ряд других параметров, которыми нецелесообразно загромождать представленную таблицу. Они могут быть уточнены в рабочем порядке.

Таким образом, для пользователей необходимо представлять один перечень параметров, для проектировщиков – второй, а для эксплуатационников – третий. Дополнительная требуемая информация запрашивается у фирм-производителей.

В результате такого анализа можно выявить ряд издержек: отсутствие в документации ряда важных параметров, в том числе светоотдачи, и системного представления данных; наличие малоинформативных параметров, ряда ошибок, легко обнаруживаемый при проведении дополнительных расчетов, завышение мощности светового потока и срока службы.

Проведение третьего этапа анализа расширяет представление о СДС, но этого еще недостаточно для принятия верного решения. По итогам

данного этапа может быть отобрано до 3-5 СДС, представляющих наибольший интерес для последующего их испытания.

Из вышеизложенного следует, что теоретический анализ позволяет получить ценную информацию о качестве светодиодных световых приборах. Вместе с тем, остается актуальным вопрос измерения их параметров в лабораторных условиях, поскольку у 30 % СОП приводимые в технических характеристиках параметры значительно отличаются от измеренных.

Выводы ко второй главе

1. Метод определения рейтинга светодиодных осветительных приборов на основе разнобалльной шкалы с привлечением экспертов разного уровня подготовки и специализации, является несовершенным и имеет как низкую чувствительность, так и обеспечивает низкую достоверность результатов их сравнения.
2. Разработанные методы оценки качества светодиодных осветительных приборов на основе учета коэффициента предварительной экспресс-оценки их эффективности, критериальных значений их параметров и анализа уровня представления параметров в технической документации являются достаточно информативными, высокочувствительными и могут быть успешно использованы как в комплексе, так и самостоятельно для характеристики качества изделий разных фирм.
3. Разработанные и обоснованные критериальные значения 13 параметров светодиодных осветительных приборов с применением двухбалльной шкалы позволяют оперативно оценивать качество поставляемых потребителю изделий.
4. Обоснована унифицированная система представления и дифференциации параметров светодиодных осветительных приборов на основные в количестве 12 параметров и дополнительные 12.

5. С целью ускорения оценки качества светодиодных осветительных приборов каждый из 3-х этапов анализа и контроля может быть в ряде случаев применен как в отдельности, так в некотором сочетании.
6. Для оценки качества изделий необходимо наряду с теоретическими исследованиями светодиодных осветительных приборов необходимо проводить непосредственное измерение параметров, так как заявленные значения ряда параметров у 30 % изделий завышены на 10-30 %.
7. Теоретические анализ документации светодиодных осветительных приборов и предварительный их визуальный осмотр с привлечением вспомогательных устройств в условиях промышленных выставок и торговых домов позволяют получить важную информацию о целесообразности приобретения их для последующего испытания.

3. АНАЛИЗ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Разработка методик, измерительных установок и проведение экспериментальных исследований светодиодных осветительных приборов - четвертый этап анализа и контроля

3.1.1. Схема выполнения четвертого этапа анализа

. В итоге проведения третьего этапа обеспечивается отбор 3-5 типов светодиодных светильников или ламп из нескольких десятков разных производителей, наиболее удовлетворяющих требованиям соответствующего потребителя. Выполнение четвертого этапа анализа осуществляется в следующей последовательности:

1. Отобранные типы изделий закупаются в одном экземпляре у дилеров во избежание приобретения эксклюзивного экземпляра непосредственно у производителя. СОП можно приобрести для испытания у дилеров по их себестоимости или даже на условиях последующего их возврата, если у них будет определенная уверенность, что параметры их светильников соответствуют заявленным.
2. С использованием ряда доступных приборов (люксметра-пульсметра, измерителя качества электричества, электротермометра), разработанных нами ряда экспресс-методик, а также измерительных установок определяются в сравнительном плане в широком диапазоне изменения напряжения питания и температуры окружающей среды основные параметры СОП и оценивается степень их соответствия требуемым значениям.

В процессе испытания светильников определяются 10 основных и ряд дополнительных параметров:

- 1) потребляемая мощность; 2) спад освещенности; 3) коэффициент пульсации освещенности; 4) угол изучения; 5) цветовая температура; 6)

эквивалентная мощность лампе накаливания; 7) коэффициент мощности, коэффициент потерь мощность и $\cos\phi$; 8) кривая силы света; 9) изменение параметров СОП при изменении напряжения сети на $\pm 10-20\%$; 10) изменение параметров СОП при повышении температуры среды до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$; 11) температура корпуса; 12) удельная цена; 13) удельная масса и др.

3. На основе результатов испытаний отбирается СОП с наилучшими техническими характеристиками. Окончательное принятие решения должно осуществляться также с учетом объема производства выбранной фирмы, ее бренда, наличия собственной сервисной службы, качества комплектующих изделий, срока гарантии и ее территориальной удаленности.

Такие исследования позволяют окончательно осуществить выбор наиболее оптимальных светильников для перехода к шестому этапу испытаний. В случае необходимости оценки лишь одного изделия время анализа может составить всего 2-3 часа.

3.1.2. Разработка измерительного стенда для проведения светотехнических исследований светодиодных осветительных приборов

В работе исследованы более 30 СДЛ разных типов и мощностью от 3 до 15 Вт, то есть наиболее пригодных для использования в жилом секторе. Ряд исследований проведены с применением СДС фирмы «ТД Ферекс» и других мощностью от 30 до 170 Вт. Проанализированы технические параметры более 260 ламп и светильников.

На сегодня светодиодные ретрофитные лампы занимают уже заметную долю в сегменте изделий светодиодных производителей. Основная их номенклатура производится за рубежом, а реализуется в РФ под разными установившимся торговыми марками.

В настоящий время СДЛ имеют радиатор и электронику. Цена их с каждым годом снижается, но все еще остается высокой. Для снижения

себестоимости СДЛ можно идти по пути исключения драйвера, радиатора и силы тока. Пока многие выпускают типовые конструкция СДЛ в основном мощность до 6,5 Вт. Этой мощности не достаточно для однорожковых светильников, применяемых для освещения даже кухонь, коридора и ванной. Поэтому одной из важных задач является повышения мощности ламп до 10-15 Вт.

Для решения каждой поставленной задачи измерительная установка несколько изменялась, что отражено в соответствующих разделах диссертации. Вместе с тем, имеет смысл привести структурную схему базовой установки, использованной для световых, электрических и тепловых исследований промышленных светодиодных ламп и светильников (рис. 3.1).

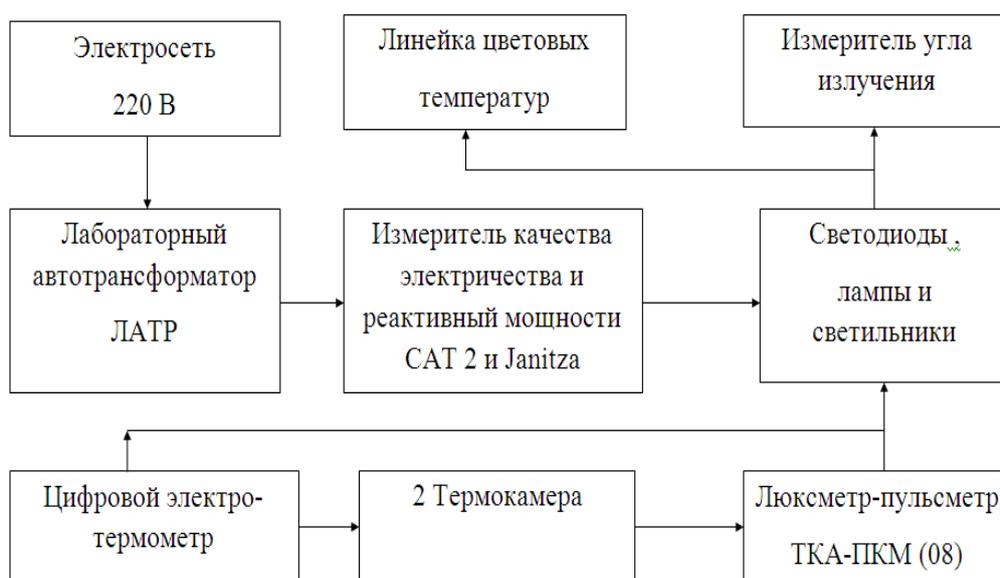


Рис. 3.1. Структурная схема измерительной установки

Представленная схема состоит из лабораторного автотрансформатора для изменения напряжения питания в широких пределах, прибора САТ2 для измерения активной мощности СДЛ и СДС, коэффициента мощности, прибора JANITZA, позволяющего дополнительно определять значение $\cos\phi$ и характер реактивности нагрузки. Результаты последних измерений

позволяют вычислить коэффициент потерь мощности ε и оценить, таким образом, структуру коэффициента мощности СДЛ и СДС. Световой поток СДС регистрировался люксметром ТКА-ПКМ (42), а коэффициент пульсации люксметром-пульсметром ТКА-ПКМ (08).

При светотермометрических исследованиях СДЛ располагались в минитермокамере, а СДС – в термокамере средних размеров. Температура в камерах регистрировалась цифровым электротермометром. Измерение светового потока осуществлялось косвенно по обеспечиваемой освещенности люксметра.

При испытании маломощных СДЛ применяли дополнительный подогрев, путем периодического включения 40 Вт лампы накаливания на небольшой период времени размещенной у основания минитермокамеры. Для достижения температуры в камере до +50С необходима суммарная мощность порядка 30 Вт.

Для одновременного измерения освещенности и коэффициента пульсация использовали люксметр ТКА-ПКМ(08). При исследовании СДЛ при комнатной температуре применили люксметр – пульсометр ТКА-ПКМ(42), а также термоэлектрический термометр (AZ8803) для определения температуры корпуса СДЛ и СДС. Эквивалентную мощность лампе накаливания оценивали путем сравнения осевых освещенностей с помощью калиброванных ламп накаливания мощностью 25, 40, 60, 75, 150 и 220 Вт.

Кроме заявленных фирмами параметров светодиодных ламп измеряли и оценивали также спад светового потока, коэффициент мощности и его структуру, параметры при отклонении напряжения и температуры среды от номинальных. Напряжение питания изменяли от 100 до 250 В.

3.1.3. Усовершенствование методики и результаты определения уровня спада светового потока светодиодных ламп и ее метрологическое обеспечение

В работе исследован спад светового потока у 6 СДЛ (Gauss, Geniled, Komtex, Estares, Geniled evo, Viribright), а также у 8 СДС. Спад также определялся вычислением на основе данных измерений ИЦ ВНИСИ, полученных на основе испытания 12 СДЛ разной мощности.

На самом первом этапе был изучен спад светового потока и температуры корпуса двух светодиодных ламп типа СДЛ 220-6 и SY-A-K-164W (рис. 3.2), размещенных в типовом матовом плафоне люстры, а также вне ее в положениях лампы цоколем вверх и вниз.



Рис. 3.2. Внешний вид светодиодной лампы SY-A-K-164W типа «corn» (кукуруза)

О динамике светового потока судили по косвенному показателю – освещенности рабочей поверхности, измеренной люксметром ТКА-ПКМ. Измерения температуры радиатора и корпуса светодиодных ламп осуществлялось термоэлектрическим цифровым термометром AZ8803, при этом температура окружающей среды была в пределах 25-26 °С.

Самые ранние измерения были выполнены на лампе типа СДЛ 220-6 и SY-A-K-164W. Первая лампа типа имеет мощность 6 Вт, состоит из защитной колбы, 80 маломощных светодиодов, тороидального радиатора высотой 15 мм и цоколя E27. Вторая лампа мощностью 11 Вт имеет цилиндрическую форму высотой 70 мм, на торцевой и боковой поверхностях которой размещено 164 маломощных светодиода. В отличие от первой лампы она при мощности почти в 2 раза большей выполнена без радиатора. Это, очевидно, стало возможным за счет ее большой площади рассеивания, равной 121 см².

По истечении 60 минут световой поток первой лампы уменьшается на 12%, а второй лишь на 8%, несмотря на то, что ее мощность была в 1,8 раз меньше. Через два часа стабилизация светового потока завершается. Однако установить точное время полной ее стабилизации трудно, так как на этом этапе имеют место небольшие разнонаправленные колебания светового потока, вызываемые фоновыми колебаниями напряжения сети и отчасти температуры окружающей среды. Для проведения исследований с более высокой точностью необходимо предусмотреть стабилизацию напряжения сети и размещение лампы в такой термостатированной камере, в которой осуществляется отвод тепла по мере повышения ее температуры.

За второй час работы световой поток ламп уменьшается приблизительно на 1 %. Это позволяет для этих типов ламп время стабилизации результатов измерения светового потока с удовлетворительной точностью принять равным 60 мин, по истечении которого практически можно начинать проведение исследований многих фотометрических характеристик ламп.

Величина спада освещенности косвенно отражает величину температуры *p-n* перехода светодиодов в светильнике и соответственно уровень снижения светоотдачи. Поэтому данный параметр следует использовать в качестве одного из информативного.

Для метрологического обеспечения определения погрешности измерения величины спада освещенности следует проанализировать ряд потенциальных источников погрешностей. Он определяется погрешностью измерения освещенности люксметром, погрешностью измерения начального и конечных уровней освещенности, обусловленных точностью выбора времени отсчета начальной и конечной освещенности. Последнее определяется стабилизацией освещенности, которое завершается по истечении 2-3 ч. На первый взгляд, отсчет показаний может быть с определенным приближением осуществлено уже через 30 минут (рис. 3.3), однако этого времени, как будет показано ниже методом аппроксимации, далеко не достаточно.

Широко применяемый люксметр типа ТКА-ПКМ(42) имеют начальный переходной процесс, длящийся порядка 2-3 с. Измерение начального значения освещенности следует осуществлять через такой интервал времени, который может обеспечить достаточную воспроизводимость результатов независимо от инерционности используемого типа фотометра и времени реакции оператора. Исходя из этого, отсчет светового потока следует начинать не ранее, чем через 3-5 с.

Выбор времени начального отсчета освещенности должен базироваться на характеристиках тех СДЛ, которые имеют наибольшую скорость спада в первую фазу. К ним следует отнести СДЛ фирм Geniled и Civilight. Освещенность сразу после включения СДЛ у данных ламп в первые 10 с уменьшается со скоростью не более, чем 0,04 %/с. Оператор практически в состоянии спокойно осуществить отсчет времени через 5 с в пределах 4-6 с. При этом суммарная систематическая погрешность измерения начальной освещенности не будет превышать - 0,2%, которой вполне можно пренебречь, а при необходимости можно внести поправку в результаты измерения. В случае определения спада светового потока по ГОСТ Р 55308-

2011 ее значение будет занижено до 0,8%, что ведет к погрешности ее определения до 20 % и только за счет одной составляющей.

Спад освещенности измеряется через 5 с и через один час и далее определяется величина спада освещенности по формуле:

$$\delta_{\text{сп}} = \frac{E_{\text{начала}} - E_{\text{конца}}}{E_{\text{начала}}} \times 100 \% \quad (3.1)$$

На рис. 3.3 графически представлены лишь основные результаты исследований разных типов светодиодных ламп и разной мощности.

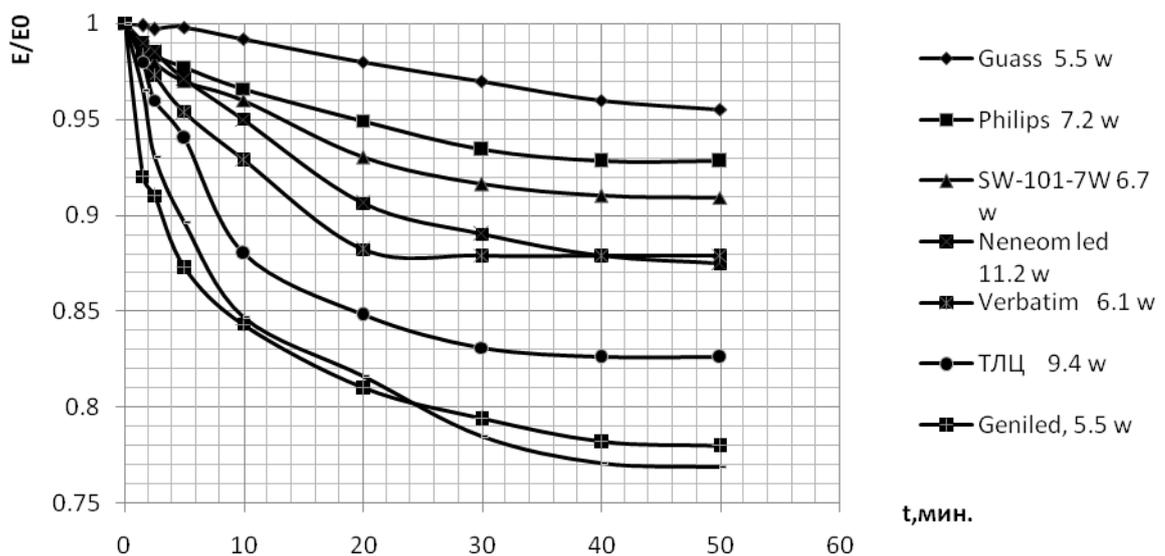


Рис. 3.3. Динамика уменьшения контролируемой освещенности во времени

Построение математических моделей данной зависимости позволяет оценить время полной стабилизации светового потока. Кривую спада освещенности с наибольшей крутизной СДЛ Civilight в пределах одного часа можно аппроксимировать выражением:

$$\delta'_E = 0,06 t^3 - 0,017 t + 0,985 \quad R^2 = 0,981 \quad (3.2)$$

Однако при этом допускается большая погрешность в определении

спада освещенности через 2 часа. Результаты аппроксимации завершающих участков кривых спада у ламп с наибольшими значениями спада освещенности (22-23%) приведены в виде графика на рис. 3.4.

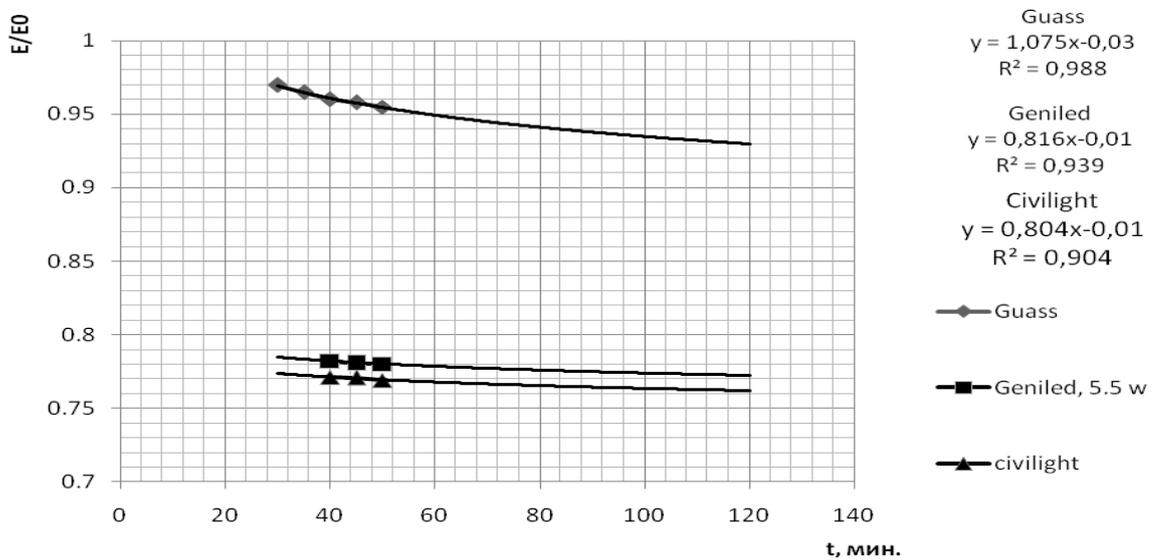


Рис. 3.4. График зависимости спада освещенности от времени измерения

Для повышения точности прогнозирования спада освещенности использована меньшая по длительности завершающая фаза наиболее характерной кривой спада, в частности СДЛ Civilight. Она описывается формулой:

$$\delta_E = 0,999 t^{-0.06}, \quad R^2 = 0.976 \quad (3.4)$$

где δ_E – относительное значение освещенности; t – текущее время; R^2 – коэффициент детерминации.

Из (3.4) следует, что через 2 и 3 ч спад светового потока у СДЛ Geniled происходит, соответственно, на 0,6 и 0,9 %, а у СДЛ Civilight – на 0,5 и 0,85 %.

Таким образом, при более совершенном приеме аппроксимации зависимости погрешность спада светового потока по истечении 120 минут не

превышает 1%. Это позволяет в большинстве случаев начинать фотометрические исследования через 60 минут после включения лампы.

Погрешность определения спада освещенности может быть определена по формуле:

$$\delta_{cn} = \left(1 - \frac{\delta_E}{\delta_E + 1}\right) \times 100 \% \quad (3.5)$$

где δ_E - относительное значение спада освещенности светильника, измеренное через 1 ч в процентах.

На основе этого выражения найдено, что погрешность определения спада освещенности в 5% составляет 20%. При спаде светового потока в 10% погрешность уменьшается до 10% и лишь при предельных его значениях она принимает значения порядка 4%.

Таким образом, при более точной аппроксимации зависимостей погрешность спада светового потока по истечении 120 минут не превышает 1%. Это позволяет в большинстве случаев ограничиться временем измерения, равным 60 минут. При более раннем отсчете спада светового потока, то есть менее чем за 30 минут, погрешность измерения уже составляет порядка 3%. Следовательно, во избежание значительной погрешности для отсчета момента стабилизации светового потока у всех марок СДЛ и СДС следует осуществлять через фиксированное время, которое с метрологических позиций следует взять равным 1 ч.

У СДЛ типа Gauss спад светового потока через 60 минут самый небольшой и составляет 4,5%. Однако из аналитического описания данной зависимости следует, что через 2 и 3 часа происходит дополнительный спад светового потока, соответственно, на 2 и 3%.

Таким образом, для обеспечения удовлетворительной погрешности определения спада освещенности измерение освещенности следует осуществлять через 1 ч после включения светодиодных ламп и светильников.

3.1.4. Определение уровня спада освещенности офисных и промышленных светильников мощностью до 170 Вт после их включения в разных условиях эксплуатации

Светодиодные светильники отличаются от СДЛ наличием мощных радиаторов, которые казалось бы требуют большего времени для стабилизации светового потока. Имеется определенный интерес изучить характер спада освещенности при использовании офисных и промышленных СДС. На рис. 3.6 представлен характер освещенности после включения промышленных светильников фирмы «ТД Ферекс».

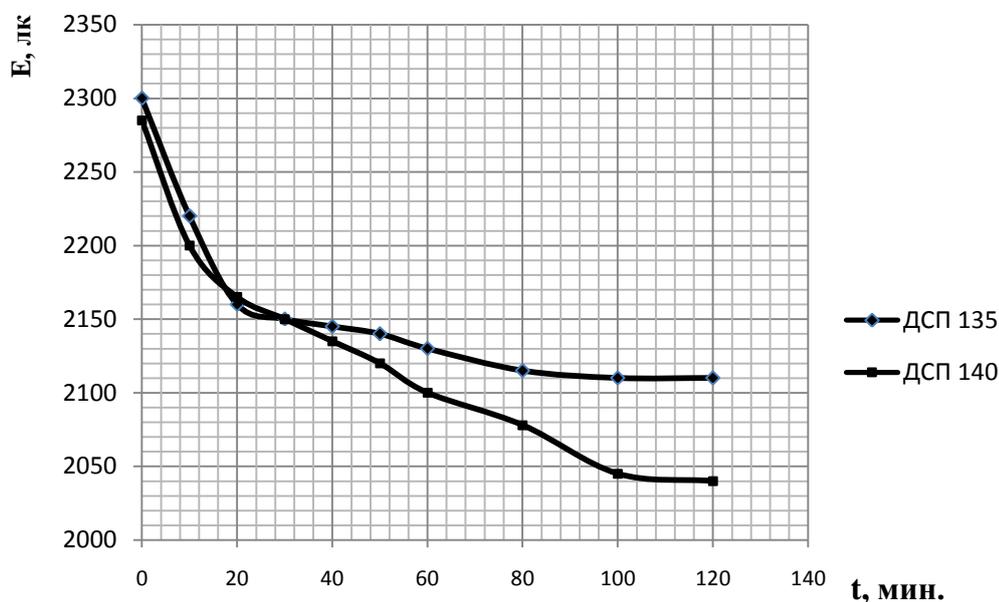


Рис. 3.5. Изменение освещенности после включения промышленных светильников мощностью 135 и 140 Вт фирмы «ТД Ферекс».

Коэффициент спада через 60 минут составил соответственно 7,4 и 8,1 % (рис. 3.5). Небольшое отклонение от средних значений коэффициента спада освещенности обусловлено тем, что измерение проводилось в камере при открытой ее дверце, то есть в относительно ограниченном пространстве, где в меньшей степени проявляется конвекционное охлаждение.

В этих исследованиях подтверждено наличие спада освещенности по истечении последующих 60 минут не более, чем на 1%.

Результаты сравнительной оценки спада освещенности δ_E СДЛ и СДС, полученных на основе измерений (рис. 3.3), вычислений (табл. 2.4) и статистической обработки данных [91], обобщенно представлены в табл. 3.1.

3.1. Среднее значение спада освещенности у разных типов светодиодных светильников

Офисные, потолочные (n=14)	Промышленные (n=17)	Лампы (n=5)
2,3 ± 0,58/25 $P > 0,99$	4,6 ± 2,2/48 $P > 0,95$	12,6 ± 5,6/48 $P > 0,90$
$P > 0,999$		
	$P > 0,99$	

У офисных светильников среднее значение коэффициента спада освещенности равно порядка 2,5%, у промышленных -5%, а у светодиодных ламп -13 %. Все использованные выборки по существу являются достоверными ($P > 0,9-0,99$), а между всеми типами источниками света имеется высоко достоверное различие ($P > 0,99-0,999$).

Освещенность при достижении температуры в термокамере с 25 до 46 °С уменьшается на 8,3% и 9,1%, то есть практически в 2 раза больше, чем при комнатной температуре (рис. 3.6).

Отсюда следует, что температурный коэффициент спада освещенности при разгоревшемся светильнике составляет порядка 0,2 %/град, то есть соответствует ТКО светодиодов.

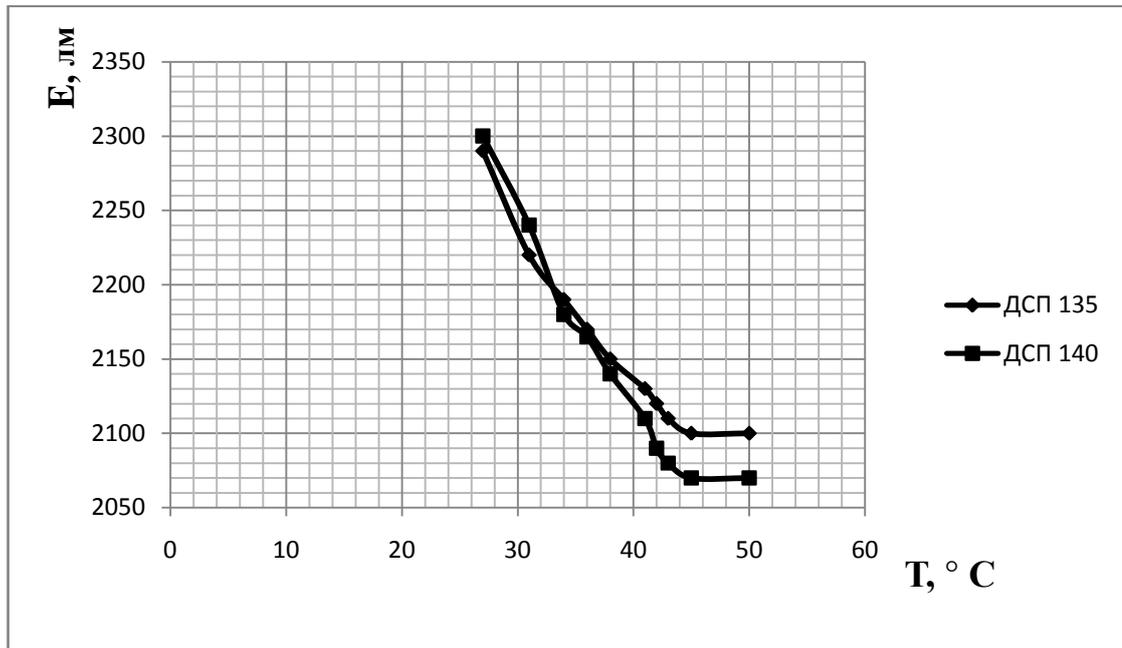


Рис. 3.6. Зависимость уровня освещенности от температуры в термокамере при двух типах промышленных светильниках

3.1.5. Методика и устройство для экспресс-оценки угла рассеивания и построения КСС светодиодных ламп

Для получения косвенного представления о световом потоке СДЛ необходимо наряду с определением эквивалентной мощности лампе накаливания ($P_{\text{ЭКВ}}$) иметь сведения и об угле рассеивания θ .

Для измерения угла рассеивания обычно применяют гониофотометры разных конструкций и производителей. В одних из них источник света вращается вокруг фотоприемника, а в других – наоборот. Последнему типу гониофотометра нередко отдается предпочтение.

Поскольку данные приборы дороги и малодоступны для широкого пользователя (малым предприятиям, дилерам, пользователям и учебным заведениям), то было решено разработать устройство для экспресс-оценки угла рассеивания СДЛ, которое может быть легко воспроизведено многими

пользователями. На практике нередко возникает необходимость перепроверить заявленные данные разработчика или определить неизвестный угол рассеивания СДЛ (рис. 3.6) . При этом зачастую достаточно определять значение θ с погрешностью порядка до $\pm 5\%$.

Разработанное устройство состоит из вращающегося в горизонтальной плоскости круглой площадки-лимба диаметром 25 см, на которой на высоте 10 см установлен источник света – СДЛ. На удалении в 40 см от площадки расположен отъюстированный по оптической оси фотоприемник люксметра.

Юстировку оптической системы осуществляли по максимуму показания люксметра путем перемещения в небольших пределах (на 1-2 см) фотоприемной головки люксметра в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Для устранения влияния побочных отражающих поверхностей и возможности проведения измерений в обычных условиях освещенности, то есть без использования затемненной комнаты, фотоприемник размещен в небольшой темной камере (15X25X8 см) с отверстием диаметром в 1,6 см в передней стенке, выполняющей роль диафрагмы (рис. 3.7).

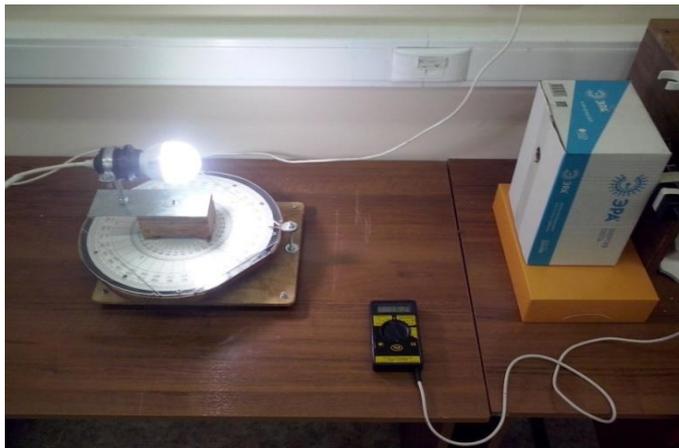


Рис. 3.7. Внешний вид установки для определения угла рассеивания

Отсчет углов разворота осуществляется по лимбу с шагом деления в один градус. Угол излучения СДЛ определяется суммированием двух углов разворота. В итоге получается

$$\theta = \theta_1 + \theta_2, \quad (3.8)$$

где θ_1 и θ_2 - углы разворота лимба, соответственно, вправо и влево.

Результаты измерения углов рассеивания пяти СДЛ разных типов и фирм представлены в табл. 3.2.

3.2. Заявленные и измеренные углы рассеивания ($K=3$)
при диаметре диафрагмы 1,6 см

№ лампы	Тип СДЛ	Заявл., θ , град.	Измер. в Испыт. Центре МГУ, θ , град.	Измеренные на установке		Откл. от истин., %
				Без диафр., град.	С диафр., град.	
1	Gauss	120	139	186	133	-4,3
2	Estares	180	175	215	181	-2,9
3	Geniled	240	190	210	177	- 6,8
4	Geniled iso	240	181	200	187	+3,3
5	Komtex	280	155	170	152	-2

Как следует из представленной таблицы, при установке диафрагмы большинство результатов измерения регистрируются с систематической погрешностью 2-7 %.

Были также дополнительно рассмотрены возможности снижения систематической погрешности. Для этого были изучены влияния отклонения и смещения оптической оси, диаметра апертуры, изменения длины

оптического пути и точности расположения СДЛ в центре вращающегося диска на точность измерения.

Установлено, что при уменьшении диаметра диафрагмы погрешность измерения угла рассеивания уменьшается. При диафрагме диаметром 16 мм и длине оптического пути равном 400 мм диаметр видимой плоскости в плоскости СДЛ составляет 50 мм. В результате этого приема погрешность измерения углов излучения до 180 градусов уменьшилось в 3-5 раз.

Среднеквадратическое отклонение показаний (СКО) не превышает $\pm 3,8\%$. Абсолютное отклонение средних значений от образцовых СДЛ составляет 2%. Погрешность самой установки находится на уровне 1,5-2,0%.

Путем поэтапного поворота патрона лампы на 45° можно снять кривую силы света (КСС) в 4 плоскостях, что позволяет получить достаточное представление о фотометрическом теле СОП, особенно при его симметричности.

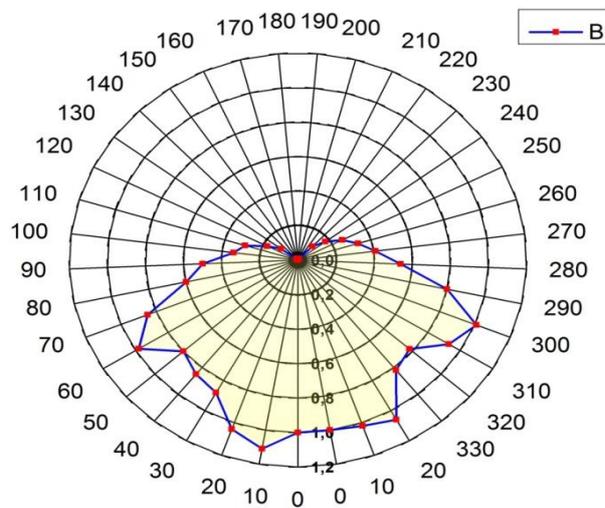


Рис. 3.8. Кривая силы света СДЛ Comtex

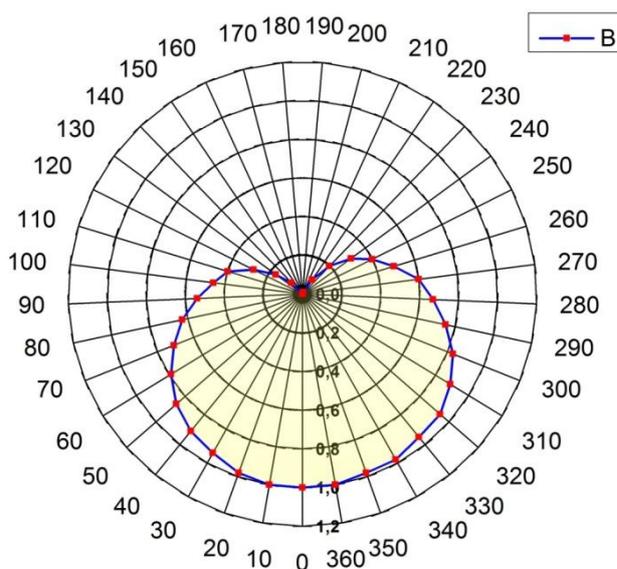


Рис. 3.9. Кривая силы света СДЛ Geniled

Что касается заявленных значений углов рассеивания, то они оказались больше действительных у 80 % СОП. Это косвенно свидетельствует о сознательном завышении угла рассеивания, а возможно и отсутствии у разработчиков гониофотометра.

3.1.6. Разработка установки и методики для экспресс-оценки цветовой температуры светодиодных ламп

Большинство производителей светодиодных ламп и светильников в технических паспортах указывают такой параметр как цветовая температура, которая является одной из основных характеристик светодиодных светильников, определяемой спектральным составом излучения источников света и измеряемой в кельвинах (К).

В соответствии с зарубежным нормативным документом (стандарт ANSi C 78.377A) в фирме «OSRAM» применяют следующий ряд значений цветовой температуры для характеристики освещения: 2700, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5700 и 6900 К. Из этого ряда следует, что фиксированные

значения цветовой температуры отличаются друг от друга на 15-20%. Такой разброс значений выбран исходя из уровня чувствительности органа зрения к перепаду цветовой температуры и обеспечиваемой точности ее измерения. Очевидно, поэтому в технических паспортах светильников значения цветовой температуры $T_{\text{цв}}$ приводятся без указания погрешности измерения, то есть допускается ее вариабельность в определенных пределах.

Для определения цветовой температуры применяются специальные приборы – спектроколориметры и оптические скамьи, которые стоят достаточно дорого, громоздки и требуют десятки минут на измерение. Отсутствие высоких требований к $T_{\text{цв}}$ побудило разработать установку, пригодную для быстрого определения коррелированной цветовой температуры светодиодных ламп с достаточно удовлетворительной погрешностью. Для определения цветовой температуры светодиодных ламп была изготовлена лабораторная установка, представляющая собою линейку цветových температур в диапазоне 2700-6400 К (рис. 3.10). Она содержит 10 компактных люминесцентных и светодиодных ламп мощностью 11-20 Вт с цветовой температурой от 2700 до 6400 К, которые могут включаться как одновременно, так и последовательно в желаемом сочетании. Установлено, что для дальнейшего повышения точности определения $T_{\text{цв}}$ в установке целесообразно применять лампы одинаковой мощности, но с разной цветовой температурой.

Цветовую температуру контролируемой лампы следует определять путем сравнения с цветовой температурой образцовых ламп. В первом варианте установки 10-я контролируемая лампа была выносной и перемещалась вдоль линейки, а между лампами при необходимости применяли простую сменную перегородку для исключения влияния цвета излучения соседних ламп на точность измерения. Результаты последующего испытания установки показали целесообразность размещения исследуемой лампы непосредственно на линейке.



Рис. 3.10. Внешний вид измерительной установки
во включенном состоянии

Для дальнейшего повышения точности оценки $T_{цв}$ в последующем контролируемую лампу устанавливали в патрон между лампами, имеющими визуально близкие цветовые температуры. Затем положение лампы дополнительно уточнялось. Окончательное определение $T_{цв}$ осуществляли по значению $T_{цв}$ контрольной лампы, имеющей наиболее близкое значение.

Для большей достоверности результата измерения на линейке размещали по две контрольные лампы одинаковой цветовой температуры. Такие методические приемы позволяют определить цветовую температуру с погрешностью не более ± 200 К (менее 10%) при цветовой температуре 4200К. При этом время измерения цветовой температуры определяется точностью измерения, но не превышает 0,5-3 минуты.

При отработке предлагаемого способа визуальной оценки цветовой температуры были проведены следующие опыты. В первоначальных опытах лампы с цветовой температурой от 2700 до 6400 К каждый раз располагали в

случайной последовательности. Задача каждого из пяти экспертов из числа магистрантов заключалась в расстановке ламп в соответствии с их цветовой температурой, определяемой визуально. В итоге получено, что четверо магистрантов из пяти расположили лампы строго с их цветовой температурой. Это указывает на то, что разрешающая способность предлагаемого метода и установки составляет 200 К при исходной цветовой температуре 4000 К. Для повышения надежности оценки применили светоразделительное устройство для сравниваемых ламп (рис. 3.11), причем сопоставление более оптимально осуществлять при разнесении сравниваемой лампы с контрольной на один номер лампы.



Рис. 3.11. Внешний вид установки со светоограничительным устройством для повышения ее разрешающей способности

Для увеличения температурных градаций целесообразно наряду с КЛЛ применять СДЛ выпускаемые с цветовой температурой 3000, 4700 и 5500 К.

Достоверность результата может быть повышена, если линейку доукомплектовать запасными лампами с промежуточными или теми же значениями цветовой температуры. Установка была применена также для

определения цветовой температуры компактных люминесцентных ламп. Она успешно используется в учебном процессе при проведении лабораторных занятий с бакалаврами и магистрантами.

Таким образом, разработанная установка дает возможность достаточно быстро оценить методом визуального сравнения значение цветовой температуры испытуемой лампы с вполне удовлетворительной погрешностью.

3.1.7. Контроль температуры корпуса светодиодных ламп и светильников после их включения

Дрейф температуры корпуса лампы (радиатора) СДЛ 220-6 происходит плавно в течение первых 2 часов после ее включения. В дневное время температура за 2-3 часа достигает 69 °С, а в вечернее время – 53 °С. Последнее вызвано снижением окружающей температуры в помещении в вечернее время [А5].

У второй лампы SY-A-K-164W при вертикальной ее подвеске температура достигает в верхней зоне 58 °С, в то время как в нижней – 44 °С. Это свидетельствует о том, что только верхняя часть светодиодов в этой лампе работает в относительно тяжелых температурных условиях. Температурный режим данной лампы в целом оказался даже облегченным, чем СДЛ 220-6 несмотря на то, что мощность ее превосходит мощность сравниваемой лампы почти в 2 раза. Данный результат достигается тем, что значение удельной площади ($\text{см}^2/\text{Вт}$) лампы равно 11 $\text{см}^2/\text{Вт}$, то есть почти в 1,5 раза выше, чем у СДЛ 220-6, а также за счет лучшей конвекции воздуха из-за отсутствия рассеивателя.

Определенный интерес может представлять температурные параметры СДЛ в зависимости от условий их положения и эксплуатации. В связи с этим, испытания ламп проведены также вне плафона при их расположении цоколем вниз, вверх и под углом 30°.

Самым облегченным температурным режимом является положение ламп цоколем вниз. При этом температура радиатора первой лампы через 30 минут после включения не превышает 42-43 °С, а температура второй лампы в верхней области цилиндрической лампы – 47 °С.

В случае расположения первой СДЛ цоколем вверх температура возрастает соответственно до 59 и 57 °С, а ее при наклоне на 30 градусов температура в верхней части радиатора выше лишь на 1°С относительно нижней. Установка лампы в плафон дополнительно повышает ее температуру, соответственно, на 10 и 4 °С. Необходимо добиваться снижения температуры корпусов ламп, так как это позволяет повысить их световой поток и увеличить срок службы.

Исследования температуры в разных участках двух ламп типа Osram Led Parathen и Obileps MasterLed также вне плафона проведены в работе [11]. Согласно представленных данных наибольшая температура у трех ламп разных фирм наблюдается в области радиатора и имеет значение на уровне 58-63°С, что в целом подтверждается нашими результатами.

В наших опытах специально использованы СДЛ одинаковой мощности для большей возможности проведения их сравнительной оценки (табл. 3.3).

Согласно данным табл. 3.3, наибольшая температура корпуса 5-ваттных светодиодных ламп наблюдается у СДЛ Komtex и Gauss, а наибольший спад светового потока - у СДЛ Geniled и Komtex (14 и 10 %). У большинства ламп данной группы потребляемая мощность на 10-15% выше заявленных значений. Первая фаза стабилизации освещенности, ограниченная начальным временем 10 минут несет информацию о степени токовой перегрузки светодиодов в СДЛ, что позволяет судить о качестве их проектирования.

3.3. Температурная характеристика ряда светодиодных ламп

Марка лампы	Мощность, Вт		Температура в центре колбы лампы, °С	Макс. темпер. корпуса лампы, °С	Спад Ф через 10 мин, %
	заявл.	измер.			
Geniled	5,0	5,5	38	58	16
Geniled evo	5,0	5,6	40	54	14
Komtex	5,0	5,8	36	66	9,9
Estares	5,5	3,8	36	42	8,3
Gayss	5,0	5,5	39	60	2,2
Вирибрайт	5,0	5,5	38	35	7,9

Таким образом, как величина спада светового потока ламп после их включения, так и температура их корпуса определяется конструкцией светодиодных ламп, условиями конвекции воздуха и удельной площадью корпуса и не превышает в среднем 10-15 %.

Результаты исследований показали, что при повторных измерениях, выполненных другими людьми, значения температуры несколько отличаются друг от друга. Это обусловлено тем, что все поверхности изученных ламп отличаются по конструкции. В силу этого каждый исследователь сам выбирает для измерения место корпуса лампы. Поэтому не выявлена достоверная корреляция между значениями мощности лампы и температурой ее корпуса.

Дополнительно проведено определение уровня спада светового потока ряда ламп, светильников и прожекторов через 30 минут после их включения. Наибольший спад светового потока (9,0–10 %) имеет место у светильника МВ-28 и прожектора МВ-PR-50, а наименьшее (4,5-5,5%) у лампы МВ-17 и светильника МВ-MZ-15.

3.1.8. Разработка двух термокамер для контроля параметров светодиодных ламп и светильников при повышенных температурах их эксплуатации

Согласно данных технических паспортов светодиодные лампы могут работать в среднем в диапазоне температур $-25 - +55$ °С. Поскольку они эксплуатируются и при повышенных температурах окружающей среды, то представляет интерес на данном этапе изучить характер изменения ряда параметров ламп (светового потока, потребляемой мощности, коэффициента пульсации, коэффициента мощности) при повышении температуры до предельно допустимого значения. При этом надо иметь ввиду, что верхние температурные границы эксплуатации ламп в зависимости от фирмы изготовителя, типа модели и мощности лампы приводятся, равными 40-50 и реже 60-70 °С.

В то же время в технических характеристиках СДЛ указываются параметры только при номинальном напряжении электросети и нормальной температуре окружающей среды. Вместе с тем, немалый практический интерес представляют оценка степени сохранения работоспособности и отклонения исходных значений параметров при достижении предельно допустимой температуры окружающей среды.

В связи с этим, для контроля режима работы и светодиодных и компактных люминесцентных (КЛЛ) ламп была сконструирована измерительная установка, внешний вид которой представлен на рис. 3.12.

Измерительная установка состоит из термокамеры с электрическим патроном под цоколь E-27 для подключения испытуемой лампы, электротермометра AZ8803 и люксметра-пульсиметра ТКА-ПКМ(08). Термоэлектрический датчик размещен в камере на уровне лампы, а измерительные приборы вне камеры. Для пропускания светового потока в

камере предусмотрено окно (размером 6x8 см) из прозрачного материала - оргстекла. Размер камеры составляет 22X15X25 см [A10].

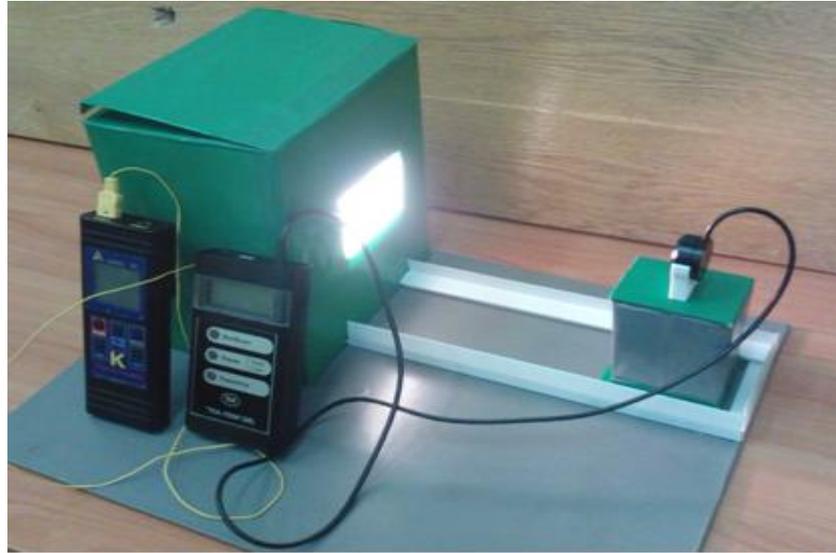


Рис. 3.12. Малогабаритная термокамера для испытания светодиодных и люминесцентных ламп

Особенность термокамеры заключается в возможности постепенного повышения температуры внутри камеры за счет прогрева ее объема самой исследуемой лампой. Максимальная температура камеры может быть повышена до $+60^{\circ}\text{C}$. Для увеличения времени экспозиции при приближении к предельным значениям температуры создавался воздушный зазор путем небольшого подъема крышки камеры.

Нагрев камеры до предельной температуры СДЛ происходит за время порядка 30 минут. При испытании СДЛ дополнительно в камере размещали лампу накаливания мощностью 40 Вт для достижения температуры 55°C путем периодического ее включения.

Результаты тепловых испытаний СДЛ и КЛЛ торговых марок Komtex, Gauss, Uniel, ZOONA, ЭРА и Geniled показали, что снижение светового потока при предельно допустимых значениях температуры не превышает (15-20%), а коэффициент пульсации светового потока возрастает порядка лишь с 5-8 до 10%. Следовательно, эти типы ламп вполне удовлетворяют

нормативным требованиям по измеренным основным параметрам. Установка позволяет исследовать также температурную динамику и динамику других параметров (активной мощности, коэффициента мощности, уровня дистилляции полимеров КЛЛ и др.)

Для испытания светодиодных светильников большой мощности (от 50 до 200 Вт) изготовлена термокамера объемом до 0,3 м³, внешний корпус которой выполнен металлическим для обеспечения пожаробезопасности. Увеличение температуры в камере достигается саморазогревом в течение нескольких часов. Для ускорения процесса измерений во внутренней боковой части камеры предусмотрено включение 60 или 100 Вт лампы (рис. 3.13).



Рис. 3.13. Конструкция термокамеры для испытания промышленных светодиодных светильников с открытой дверцей

Таким образом, предложенные установки просты по принципу действия и вполне пригодны для входного контроля ряда параметров выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью СДЛ, СДС и КЛЛ, а также для проведения лабораторных работ в учебном процессе.

3.1.9. Сравнительная оценка коэффициента пульсации светодиодных ламп и светильников мощностью 0,5-170 Вт

В работе, в основном, ограничились рассмотрением светодиодных ламп и светильников мощностью от 0,5 до 12 Вт. Это обусловлено рядом факторов. Во-первых, хорошо сконструированная лампа 10 Вт мощности по обеспечиваемой освещенности по оптической оси эквивалентна 75-100 Вт лампе накаливания и может даже ее превосходить, что вполне удовлетворяет требованиям жилого сектора. Во-вторых, большинство ламп в пределах указанного диапазона мощности сконструированы с использованием единой и простейшей схемы преобразования напряжения электрической сети. В-третьих, они наиболее доступны населению благодаря относительно низкой стоимости.

Согласно нашим расчетам, цена одного ватта мощности маломощной светодиодной лампы на сегодня составляет 50-60 руб., что в 1,5-2,5 раза меньше цены потолочных и уличных светильников [А2, А11]. Что касается световой эффективности, то СДЛ лишь несколько превосходит компактную люминесцентную лампу, в то время как по спектру излучения и экологичности существенно ее превосходит.

В табл. 3.4 приведены результаты измерения важных параметров СДЛ с фазосдвигающим конденсатором: значения коэффициентов пульсации, «эквивалентной освещенности» и нестабильности светового потока при существенном отклонении напряжения питания от номинального значения. Последняя имеет важное значение при эксплуатации ламп в условиях пониженного напряжения электросети, например в сельской местности.

Как следует из табл. 3.4, у большинства рассмотренных типов ламп коэффициент пульсации $K_{п}$ находится в пределах от 5-12% [А6]. Если в маломощных лампах, используемых для аварийного дежурного освещения, подсветки и в ночниках, сравнительно высокое значение $K_{п}$ допустимо, то в

других лампах, предназначенных для общего и местного освещения, это уже недопустимо согласно нормативным документам СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03.

3.4. Технические характеристики светодиодных ламп с фазосдвигающим конденсатором

№ п/п	Тип лампы	Мощность, Вт	Коэфф. пульс., %	δE при измен. напряж на 10%	Эквивалентная мощность ЛН, Вт
1	Acriche (4 СДх1 Вт)	4,5	120	30	-
2	лампа MR 16 (18 СДх0.06Вт, белый свет)	2	107	8	-
3	Лампа (СДх0.06Вт, белый свет)	3	102	9	15
4	Лампа MR 16 (18 СДх0.06Вт, красный свет)	2	87	11	-
5	Лампа VIRIBRIGHT (холодный свет)	5	90	8	50
6	Лампа VIRIBRIGHT (теплый свет)	5	60	8	45
7	Светильник ночник	0,5	85	13	4
8	Лампа (9СДх0.05Вт, зеленый свет)	4,4	83	7	--
9	Лампа	1	49	-	-
10	Лампа	1,2	37	-	-
11	Лампа	2,5	21	-	-
12	SY-A-K-164W (164СДх0.06Вт, белый свет)	12	36	22	55
13	Лампа (зеленый цвет)	3	19	6	-
14	Лампа (9СДх0.05Вт, белый свет)	1,4	5	-	15

Последний недостаток СДЛ вполне устраним, что будет показано ниже при анализе электрической схеме их питания. Выявленный широкий диапазон значений $K_{п}$ указывает на то, что разработчики просто недостаточно уделили внимания снижению данного параметра.

Маломощные светодиоды имеют относительное значение крутизны вольтамперной характеристики всего порядка 10. Между тем, значение крутизны вольтлюксовой характеристики (ВЛХ) самой лампы существенно ниже крутизны ВЛХ СД, о чем свидетельствует сравнительно низкий уровень нестабильности светового потока при отклонении напряжения сети от номинального значения на 10 %. На основе приведенных в табл. 3.4 данных можно вычислить, что относительные значения крутизны ВЛХ у большинства СДЛ не превышает 1.

Очень высокая и даже избыточная стабильность светового потока (0,5 %) обеспечена в СДЛ МВ-17, «Gauss» и S32702 (табл. 3.5). Это получено в силу применения в них электронного стабилизатора напряжения. Однако такой путь конструирования маломощных ламп представляется не особо целесообразным, поскольку удорожается стоимость СДЛ, снижается их надежность и ремонтпригодность.

3.5. Технические характеристики светодиодных ламп с электронным драйвером

№	Тип лампы	Мощность, Вт	Коэфф. пульс. %	δ_E при изменении напряжения	Эквивалентная мощность ЛН, Вт
1	Лампа Gauss (6СД X 1 ВТ)	4	4,0	0,5	50
2	Лампа Gauss (4СД X 1 ВТ)	3	3,4	0,5	40
3	S 32702	4	2,5	0,7	40
4	МВ-17	11	0,0	0,5	100

Рассмотренные типы ламп имеют практически единую электрическую схему преобразования переменного напряжения в постоянное и отличаются

лишь количеством СД и схемой соединения СД в кластере. В лампах достаточно малой мощности (до 1,0-15 Вт) применяют последовательно-параллельную и реже параллельно-последовательную схемы соединения с отдельными фазосдвигающими конденсаторами.

3.1.10. Анализ требований к коэффициенту мощности светодиодных осветительных приборов и его представлению в нормативных документах

В табл. 3.6 представлены требования, предъявляемые к коэффициенту мощности в сравнительно новом отечественном ГОСТ Р 55705-2-13 и широко известном американском нормативе ANSI. Из первого следует, что к лампам мощностью 8 и 20 Вт предъявлены требования, которые отсутствуют в отмеченном зарубежном нормативном документе.

3.6. Требования к значению коэффициента мощности

Мощность, Вт	ГОСТ Р 55705-2013	ANSI C.82.11
$P < 8$	$\lambda > 0,70$	Нет
$P > 8$	$\lambda > 0,85$	Нет
$P > 20$	$\lambda > 0,90$ K_F - нет	$\lambda < 0,90$ $K_F = 30 \%$

Выявляется еще одна немаловажная деталь, а именно за рубежом не ограничиваются только значением λ , а дополнительно указывают допустимое значение для полного коэффициента высших гармоник K_f (коэффициент искажений) именуемый total harmonic distortion (THD). Следует отметить, что и такая форма представления коэффициента мощности несет элемент неопределенности.

Если нагрузка будет иметь значение $\cos\varphi$ около 1, что нередко имеет место у СОП, то значение K_F при указанных значениях мощности будет иметь значения соответственно равными, 44, 53 и 71 %, что как следует из табл. 3.6 существенно превышает допустимые нормативы. Следовательно, одними значениями коэффициентами мощности искажений нельзя в дальнейшем характеризовать нагрузку.

Высокие и повышенные требования к λ , предъявляемые в отечественном ГОСТ и других работах [24, 41], естественно удорожает светотехническую продукцию и, соответственно тормозит более широкое ее внедрение. Из табл. 2.11 следует, что коэффициент мощности СДЛ 5-20 Вт во многих случаях не соответствует требованиям ГОСТ Р 55705-2013.

Структурная схема электросистемы состоит из генерирующего электроэнергию источника, электрических сетей и токоприемников с разным характером их реактивности. Вся энергосистема с разными токоприемниками для генерирующего устройства электростанции представляет в сумме активно-индуктивную нелинейную нагрузку. Большинство же светодиодных светильников представляют активную нагрузку с небольшим емкостным опережением фазы силы тока. Подсоединение такой нагрузки фактически ведет к некоторой компенсации индуктивности сети, а, соответственно, и к увеличению пропускной способности электросистемы. Следовательно, создание светодиодных светильников с выраженным емкостным характером нагрузки надо приветствовать. Этому может способствовать использование емкостных стабилизаторов. Однако, такие светильники имеют коэффициент мощности менее 0,4-0,5 (табл. 2.11) и поэтому не удовлетворяют требованиям существующих стандартов.

3.1.11. Контроль качества конденсаторных светодиодных светильников мощностью до 170 Вт по структуре коэффициента мощности и их устройство

В первой главе рассмотрен ряд конструкций бездрайверных СОП, в том числе с емкостным стабилизатором. Все они являются новыми разработками, производство которых еще не начато. В ранее отмеченных публикациях практически отсутствуют количественные сведения об уровне допускаемых пульсаций, о крутизне вольт-люксовой характеристике или нестабильности светового потока, о степени повышения светоотдачи в этих конструкциях.

Наиболее близким техническим решением к нашей конструкции является светодиодный светильник (патент РФ № 95214 по МПК Н 05 В 37/00), содержащий группу последовательно соединенных светодиодов, подключенных параллельно к сглаживающему пульсации напряжения конденсатору, подсоединенному к диодному выпрямителю (рис. 1.5). Выпрямитель подсоединен последовательно к конденсатору, задающему рабочий ток, при этом указанный конденсатор с подключенным параллельно ему разрядным резистором, вместе с токоограничивающим резистором последовательно подключены в сеть переменного тока и последовательно соединенных ограничительных резисторах.

Недостатком такой схемы является наличие двух ограничительных резисторов, препятствующих изготовлению мощных, в том числе промышленных светильников с небольшим уровнем пульсаций освещенности, а наличие одного светодиодного модуля вместо ряда кластеров в виде последовательной цепи и отсутствие варистора на входе устройства существенно снижают надежность ее работы.

Отсутствие в схеме резисторов и применение нескольких светодиодных кластеров, питаемых через один токостабилизирующий конденсатор, обеспечивают большой световой поток и способствует снижению коэффициента пульсации до санитарных норм за счет уменьшения

постоянного времени заряда сглаживающего конденсатора и увеличения постоянной времени его разряда.

Кратковременные отклонения сетевого напряжения от номинального не представляют опасности для светильника, так как, с одной стороны, светодиодный кластер выдерживает кратковременные токовые перегрузки, а с другой стороны, срабатывают токостабилизирующий и сглаживающий конденсаторы. Вместе с тем, для устранения высоковольтных всплесков в сети предусматривается варистор.

Задача данной разработки заключается в устранении указанных недостатков на основе такой схемы, которая должна быть работоспособна, иметь большую мощность, надежность, обеспечивать хорошую стабильность светового потока и коэффициент пульсации освещенности не выше нормативного значения при наличии отклонения напряжения сети промышленной частоты в допустимых пределах от номинального и наличии высоковольтных импульсных помех [A7].

В экспериментах установлено, что маломощные СД выдерживают десятикратные непрерывные перегрузки по току [A16]. Такие конденсаторные светильники имеют достаточно простую конструкцию и способны обеспечить уровень пульсаций освещенности в соответствии с нормативными требованиями и сравнительно постоянный световой поток при изменении напряжения сети на $\pm 10\%$.

Новым в схеме является то, что через один токостабилизирующий конденсатор осуществляется питание ряда кластеров, что способствует уменьшению коэффициента пульсаций освещенности, стабилизации светового потока при выходе из строя одного из модулей кластеров и повышению надежности работы промышленного светильника. Наличие варистора на входе светильника необходимо для устранения влияния высоковольтных кратковременных импульсов.

Предложенный светильник состоит из светодиодных кластеров 1, выпрямительных диодных мостов 7, 8, 9 варистора 12, токостабилизирующего конденсатора 10, резистора 11, подключенного параллельно конденсатору, и электролитических конденсаторов 6, подключенных параллельно светодиодным кластерам (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Принципиальная электрическая схема мощного трехблочного светодиодного промышленного светильника

Уровень коэффициента пульсаций в соответствии с требованием СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 прежде всего обеспечивается выбором соответствующего значения емкости сглаживающего конденсатора. Дополнительное сглаживание пульсаций может быть обеспечено увеличением сопротивления кластера за счет увеличения количества светодиодов в модуле кластера или уменьшения числа модулей в каждом кластере, а также уменьшением мощности используемых светодиодов. Резистор, параллельно подключенный к токостабилизирующему конденсатору, предназначен для предотвращения умножения напряжения

питания в момент включения светильника и ускоренного разряда конденсатора после выключения светильника в соответствии с требованием ГОСТ 17677-82.

В зависимости от степени превышения сопротивления токостабилизирующего конденсатора над сопротивлением светодиодных кластеров и уровня сглаживания пульсации выпрямленного напряжения изменение напряжения сети на $\pm 10\%$ вызывает изменение светового потока лишь на $\pm 5-8\%$. Такие уровни колебания светового потока вполне допустимы, поскольку не воспринимаются органами зрения человека.

В предложенном светильнике достигается повышение надежности, коэффициента полезного действия, экономичности, а также обеспечивается коэффициент пульсации освещенности меньше предельно допустимого нормативного значения. Исключение из светильника сложного электронного стабилизатора тока (драйвера) позволяет его несколько удешевить, повысить энергоэффективность за счет повышения КПД, надежность и срок его службы. Внешний вид разработанного светильника представлен на рис. 3.15.



Рис. 3.15. Светильник с емкостным стабилизатором

Выбор значения емкости стабилизирующего конденсатора

Для проектирования подобных конденсаторных светильников разработана методика проведения электрических расчетов, на основе

которой определены значения емкости конденсатора для светильников разной мощности (табл. 3.7).

3.7. Значения емкости конденсатора для светильников разной мощности с учетом типа схемы кластера

Тип кластера и колич. СД	5x1	10x1	15x1	25x1	40x1	60x1	70x1	80x1	60x2	60x4
Р, Вт	5	10	15	25	40	60	70	80	120	240
С, мкФ	3,7	4,1	4,3	5	6,5	11,5	17	35	23	35

Из него следует, что в модуле следует выбирать независимо от мощности не более 60 СД, поскольку при большом их количестве экспоненциально возрастает необходимость в увеличении значения емкости фазосдвигающего конденсатора.

При необходимости повышение мощности и увеличение количества СД с СОП можно осуществлять путем перехода от светодиодного модуля к схемам светодиодных кластеров типа 60x2, 60x3 и т.д., состоящих из нескольких модулей, а также созданием блочных конструкций.

3.2. Завершающее испытание выборки светодиодного осветительного прибора - пятый этап анализа и контроля

По окончании проведения пятого этапа выбирается одна фирма, СОП которого в наибольшей степени удовлетворяет предъявленным

требованиям. Закупается небольшое количество светильников этой фирмы. Осуществляется испытание этих светильников по сокращенной программе. Пятый завершающий этап проводится в следующей последовательности:

1. Исходя из трудоемкости проводимых испытаний и решаемой задачи следует приобрести 3-5 светильников одной фирмы, светильники которой имеют наилучшие характеристики.

2. Приобретенные светильники следует испытать в соответствии с разработанными методиками и установками и этапом 5.

Примечание. При отсутствии собственной базы для проведения испытания светильников по 4 и 5 этапам могут быть привлечены небольшие электротехнические лаборатории смежных предприятий или организаций.

3. При подтверждении ранее полученных результатов по данному типу светильника закупается необходимый их объем для оснащения предприятия.

Примечание. В случае, если результаты испытания светильников будут недостаточно удовлетворительными, то следует повторить пункт 1-3 данного раздела со следующим лучшим типом светильника, отобранным по результатам четвертого этапа.

4. В процессе эксплуатации приобретенной партии светильников желательно в первый год эксплуатации периодически через 2-3 месяца проводить их контроль по спаду освещенности.

5. При существенных отклонениях параметров от паспортных значений светильников предъявляется рекламация фирме, возвращается продукция, компенсируются издержки.

6. Приобретается новая партия светильников из ранее отобранных их типов, проводится их испытание в соответствии с п. 2-3 и в случае положительных результатов оснащается ею предприятие.

Выводы по третьей главе

1. Для проведения экспериментальных исследований разработаны ряд методик и измерительный стенд для комплексного контроля параметров светодиодных осветительных приборов: величины спада светового потока, угла рассеивания, кривой силы света, цветовой температуры, потребляемой мощности, коэффициента мощности и его составляющих, максимальной температуры корпуса изделия, эквивалента мощности как в номинальном режиме эксплуатации, так и при предельно допустимых значениях рабочей температуре и напряжения электросети.

2. Разработан метод определения спада светового потока и времени его стабилизации, заключающейся в измерении его через 5 с и 60 мин после включения, позволяющий повысить точность измерения и воспроизводимость результатов. На его основе определены критериальные значения спада светового потока у офисных, промышленных светодиодных светильников и ламп, равные соответственно 2,5, 5,5 и 12,5 %.

3. Установлено, представленные в технических характеристиках значения ряда параметров (световой поток, потребляемая мощность) у 30% СОП завышены на 10-30 %, а угол рассеивания у светодиодных ламп даже на 30-50%. Единый срок службы светодиодных осветительных приборов, приводимый фирмами для всех типов светильников и ламп (50000 и 30000 ч), свидетельствует о приближенности указываемых значений. Между тем, стандартное отклонение параметров в пределах одной модели незначительное и не превышает 1,5-2,0 %.

4. Проведенное метрологическое обеспечение измерения спада освещенности потока СОП после его включения, цветовой температуры, угла излучения и температуры корпуса светильников позволяет проводить исследования с погрешностью менее $\pm 5-10$ %, удовлетворяющей широкой светотехнической практике.

5. Светодиодные осветительные приборы с емкостным стабилизатором несколько повышают светоотдачу (на 10 %), надежность светильников и способствует обеспечению энергосбережения. Данный тип светодиодного осветительного прибора обеспечивает удовлетворительную стабильность светового потока при отклонении напряжения сети от номинального на $\pm 10\%$ и коэффициент пульсации освещенности, не превышающий санитарно-гигиенические требования (10-20%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИИ

В связи с высокой энергоэффективностью и большим сроком службы светодиодные осветительные приборы – светодиодные светильники и лампы находят все большее применение для внутреннего и наружного освещения. На их внедрение направлен ряд постановлений правительства РФ и решение «Агенства стратегических инициатив по продвижению новых проектов» [51, 71]. Вместе с тем, отсутствуют методики и установки, которыми могли бы воспользоваться потребители и разработчики «малых» предприятий для анализа и контроля производимой и приобретаемой продукции. Это заметно замедляет внедрение светодиодных осветительных приборов, повышение качества и снижение их стоимости. Согласно последнему сообщению в журнале Полупроводниковая светотехника (2015, № 4, С.76), «вопросы истинного качества светодиодной продукции неоднократно поднимались на всех уровнях технического регулирования ...» и остаются далеко не решенными. Аналогичного мнения придерживается [51], полагая, что «критерии и механизмы оценки контроля достоверности характеристик осветительных устройств и источников, заявляемым производителями и продавцами» будут разработаны только к 2018 году.

Исследования показали, что применяемый в течение ряда лет метод оценки рейтинга светодиодных осветительных приборов по их качеству [72-79] обеспечивает низкую достоверность результатов [А6]. Поэтому вопрос обеспечения контроля потребителями качества светодиодных светильников, выпускаемых разными производителями, является достаточно актуальным. В силу сравнительно высокой цены светодиодных осветительных приборов потребители нередко склоняются к приобретению более дешевых из них, в то время как качество имеет более важное значение в процессе их эксплуатации.

Контроль качества изделий должен осуществляться также на основе детального и оперативного анализа технической документации и

оперативного измерения их параметров по сокращенной программе. Поэтому в работе была поставлена задача осуществить разработку эффективного метода анализа и контроля качества светодиодных осветительных приборов.

В результате проведенных исследований разработан комплексный метод многоэтапного анализа и контроля светодиодных осветительных приборов, состоящий из 5 этапов. Первые 3 этапа метода имеют теоретический характер, а 4 и 5 – экспериментальный. Для проведения анализа изделий потребитель должен первым поэтапом первого этапа отобрать несколько десятков фирм из существующих, изделия которых удовлетворяют первоначальному условию, например должны быть взрывозащищенными, влагозащищенными и т.п. Далее определяется рейтинг фирм и на этой основе отбираются светодиодные осветительные приборы с наибольшими значениями коэффициента предварительной экспресс-оценки их эффективности.

Для проведения второго этапа на базе характеристик СОП ведущих фирм разработаны критериальные значения основных и дополнительных параметров, позволяющие достаточно оперативно по двухбалльной шкале отобрать качественные и эффективные светодиодные осветительные приборы для последующего их экспресс-анализа. Метод сравнения светодиодных осветительных приборов по коэффициенту предварительной экспресс-оценки их эффективности в 7 раз чувствительнее ранее применяемого при обеспечении достоверности результатов.

Результаты выполненных расчетов показывают, что у 30 % СОП заявленные в каталогах значения светового потока и потребляемой мощности завышены на 10-25 %, а остальные параметры (цветовая температура, индекс цветопередачи и др.) – отличаются на 5-10 %. Наибольшая погрешность допускается при указании угла рассеивания СОП, достигающая 30-60 %.

Из полученных результатов следует, что уже первые 3 этапа анализа позволяют получить немаловажную информацию о рейтинге фирм, степени

соответствия заявленных параметров светодиодных осветительных приборов, критериальных значениях, уровне представления технической документации, а также получить первые приближенные сведения о световом потоке, цветовой температуре и пульсации освещенности и др.

Это убедительно указывает на то, что для качественного отбора типа светильника наряду с теоретическими исследованиями необходимо проводить измерения основных параметров как при нормальной, так и повышенных температурах окружающей среды и соответствующем отклонении значения напряжения питания от номинального на $\pm 10\%$.

В связи с этим предусмотрен четвертый этап анализа - экспериментальный. С целью его практической реализации потребителями с небольшим уровнем светотехнических знаний, предложен ряд методов, методик и измерительный комплекс, позволяющий ускоренно проводить анализ и испытание СОП и осуществить сравнительную оценку их параметров без привлечения экспертов. Такой подход отвечает требованию «Агенства стратегических инициатив» при правительстве РФ «... создать механизм независимого подтверждения параметров и качества светотехнической продукции» [51].

Разработанные методики и установки позволяют расчетным и экспериментальным путем определить параметры СОП с погрешностью менее 5-10 %. При наличии контрольных образцов определение целого ряда параметров можно провести с относительной погрешностью всего в 2-3 %.

Пятый этап предусмотрен для подтверждения качества отбираемого типа СОП, для чего следует испытать 3-5 изделий одной фирмы. При этом основанием для принятия решения о приобретении требуемого объема СДС является отсутствие превышения его параметров более, чем на $\pm 5\%$ от параметров исходного образца. Данное значение отклонения параметров принято за нормативное при контроле качества СОП на завершающем этапе,

поскольку стандартное отклонение значений параметров у исследуемой выборки не превышает 1,5-2 %.

На выполнение каждого из первых трех этапов требуется не более 1,5-3 ч. На измерение параметров выборки из 3-5 СОП на пятом этапе анализа требуется до 9-15 ч. времени. На проведение анализа и контроля СОП по полной программе необходимо до 5 рабочих дней.

Определенным достоинством предложенного метода является возможность ограничиться в ряде случаев применением одного или двух этапов в сочетании друг с другом, так как каждый из пяти этапов позволяет получить значимую информацию для ускоренного выбора типа светильника. Метод многоэтапного анализа пригоден как для сравнительной оценки большого количества СОП, так и для оценки качества одного изделия.

Таким образом, в результате проведенной работы разработан многоэтапный метод комплексного анализа и контроля качества СОП, предназначенный для широкого круга потребителей. **На основе полученных результатов сделаны следующие обобщающие выводы по диссертации:**

1. Метод определения рейтинга светодиодных осветительных приборов на основе разнобалльной шкалы с привлечением экспертов разного уровня подготовки и специализации, является несовершенным и имеет как низкую чувствительность, так и обеспечивает низкую достоверность результатов их сравнения.

2. Разработанный метод многоэтапного анализа и контроля качества светодиодных осветительных приборов на стадии их приобретения, состоящий из пяти этапов, позволяет на основе теоретических и экспериментальных исследований отобрать без привлечения экспертов тип светильника с наилучшими техническими характеристиками, предназначенный для малых предприятий, торговых сетей и организаций. Для оперативного получения определенной информации о сравниваемых

типах светильников каждый из первых четырех этапов анализа может быть применен самостоятельно.

3. Для проведения экспериментальных исследований разработаны ряд методов, методик и измерительный стенд для комплексного контроля параметров светодиодных осветительных приборов: коэффициента экспресс-оценки, критериальных значений, величины спада светового потока, угла рассеивания, кривой силы света, цветовой температуры, потребляемой мощности, коэффициента мощности и его составляющих, максимальной температуры корпуса изделия, эквивалента мощности, как в номинальном режиме эксплуатации, так и при предельно допустимых отклонениях значениях рабочей температуре и напряжения электросети.

4. Разработан метод определения спада светового потока и времени его стабилизации, позволяющий повысить точность измерения и воспроизводимость результатов. На его основе определены критериальные значения спада светового потока у офисных, промышленных светодиодных светильников и ламп, равные соответственно 2,5, 5,5 и 12,5 %.

5. Проведенное метрологическое обеспечение измерения спада освещенности потока СОП после его включения, цветовой температуры, угла излучения и температуры корпуса светильников позволяет проводить исследования с относительной погрешностью менее $\pm 5-10$ %, удовлетворяющей широкой светотехнической практике.

5. Светодиодные осветительные приборы с емкостным стабилизатором несколько повышают светоотдачу, надежность светильников и способствует обеспечению энергосбережения. Данный тип светодиодного осветительного прибора обеспечивает удовлетворительную стабильность светового потока при отклонении напряжения сети от номинального $\pm 10\%$ и коэффициент пульсации освещенности, не превышающий санитарно-гигиенические нормы.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА,

входящих в научные издания из перечня ВАК РФ

A1. Тукшаитов Р.Х., **Айхайти Исыхакэфу**. О заявляемых и реальных значениях срока службы светодиодных светильников и ламп // Энергетика Татарстана. - 2013. - № 4. - С. 55-58.

A2. **Айхайти Исыхакэфу**, Тукшаитов Р.Х. Экспертиза качества светодиодных ламп разных производителей на основе оценки их технико-экономической эффективности // Изв. вузов. Проблемы энергетики. – 2014. - № 7-8. – С. 27-29.

A3. Тукшаитов Р.Х., Абдуллазянов Э.Ю, Нигматуллин Р.К, **Айхайти Исыхакэфу**. Алгоритмы предварительной оценки качества офисных и уличных светодиодных светильников на этапе их приобретения // Энергетика Татарстана, 2014. – № 1. – С. 48-50.

A4. Тукшаитов Р.Х, Нигматуллин Р.М, **Айхайти Исыхакэфу**, Бурганетдинова Д.Д. Экспресс-оценка офисных светодиодных светильников по их технико-экономическому показателю// Энергетика Татарстана. – 2014. - № 2 – С.74-76.

A5. Тукшаитов Р.Х., **Айхайти Исыхакэфу**, Нигматуллин Р.Я., Вафина С.А., Иштырякова Ю.С. Оценка достоверности методики определения рейтинга ЖКХ светодиодных светильников и ламп разных фирм // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12. – Ч.6. – С. 1149-1153.

A6. Тукшаитов Р.Х. , **Айхайти Исыхакэфу**, Нигматуллин Р.М., Иштырякова Ю.С., Хайруллина Д.Р. Применение новых информативных параметров при сравнительной оценке качества светодиодных ламп торговых марок «Camelion» и «ASD» // Вестник КГЭУ. – 2016. - № 2.

Патенты:

A7. Пат. 1216540 РФ, МПК H01L33/00. Светодиод / Р.Х.Тукшаитов, Ю.С.Маркин, Айхайти Исыхакэфу // Заявл. 03.04.2012. Оpubл. 27.10.2012.

А8. Пат. 127170 РФ, МПК F21S13/00. Светильник светодиодный промышленный / Р.Х. Тукшаитов, А.Н. Константинов, Р.Р. Шириев, Ю.С. Маркин, Айхайти Исыхакэфу // Заявл. 26.11.2012. Оpubл. 20.04.2013.

Работы опубликованные в других изданиях

А7. Айхайти Исыхакэфу, Шириев Р.Р. Дрейф температурных и световых характеристик светодиодных ламп после их включения // Материалы доклады VII международной молодежной научной конференция. Тинчуринские чтения 2012. - Ч. 2. - С. 14-17.

А8. Тукшаитов Р.Х., Нигматуллин Р.М., Константинов А.Н, Айхайти Исыхакэфу. Оценка коэффициента пульсации светодиодных ламп мощностью до 10 Вт и эффективность их схемного решения // IX Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики». – Саранск, 2011 - С. 16-20.

А9. Айхайти Исыхакэфу, Тукшаитов Р.Х., Бурганетдинова Д.Д., Ветлугина А.Е. Повышение эффективности работы светодиодного светильника, представленного в патенте № 95214 // X Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики». – Саранск, 2012. - С. 16-20.

А10. Айхайти Исыхакэфу, Д.Д. Бурганетдинова, Р.М. Нигматуллин. Сравнительная характеристика светодиодных ретрофитных ламп ряда производителей// VIII международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения». Казань: КЭГУ, 2013. - Том 1. - С. 243-244 с.

А11. Айхайти Исыхакэфу, Ямбаева Т.А, Любавин И.Г. Малогабаритная термокамера для контроля рабочих характеристик светодиодных и компактных люминесцентных ламп // XI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Проблемы и перспективы

развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики». – Саранск, 2013 - С. 295-296.

A12. Тукшаитов Р.Х., Абдуллазянов Э.Ю, Айхайти Исыхакэфу. Метод оценки технико-экономической эффективности светодиодных промышленных светильники // Современная светотехника. - 2014. - № 1. – С. 58-60.

A13. Tukshaitov R.H, Aihaiti Yisihakefu, Nighmattullin R.M. Power of the led cluster in housing and communal lightning devices // Internatial Gongress on Energy Flux and Radiation Effects. – Tomsk: Publishina House of IAO SB RAS, 2014.

A14. Тукшаитов Р.Х, Айхайти Исыхакэфу, Нигматуллин Р.М. Повышение энергорусурсоэффективности светодиодных светильников путем разработки и контроля ряда их нормативных показателей // XIV международный симпозиум «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение», Казань, 2014. - С. 303-307.

A15. Тукшаитов Р.Х, Айхайти Исыхакэфу, Нургалиева Э.И. Сравнительная оценки светильников ряда ведущих фирм // Современная светотехника. – 2014. - № 4. - С. 51-53.

A16. Айхайти Исыхакэфу, Вафина С.А. Анализ погрешности методик определения рейтинга светодиодных светильников и ламп // Мат. докл. IX международной научной конференция. Тинчуринские чтения. - Казань: КГЭУ, 2015. - Том 1. - С. 155-156.

A17. Айхайти Исыхакэфу. Устройство и методика оперативного контроля цветовой температуры ламп // Мат. докл. X международной научной конференция. Тинчуринские чтения. - Казань: КГЭУ, 2015. - Том 1. – С. 154-155.

A18. Айхайти Исыхакэфу, Шириев Р.Р. Лабораторная установка для определения угла излучения светодиодных и люминесцентных ламп // Мат.

9-ой Международной научно-технич. конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы физики». – Ч.2. - Саранск: МГПИ, 2015.

А.19. Тукшаитов Р.Х., Айхайти Исыхакэфу, Нигматуллин Р.М., Гарипов Р.Р. Как обеспечить заявленный срок службы светодиодных ламп // Полупроводниковая светотехника. – 2016. – С. 46-49.

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрашкина М.Л., Вишнякова Н.В. Стандартизация источников света // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. - Саранск, 2015. – С. 404-408.
2. Айзенберг Ю.Б. Основы конструирования световых приборов: уч. пособ. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 704 с.
3. Айзенберг Ю.Б. О стратегии и тактике развития светотехнической промышленности РФ и задачи снижения вдвое энергопотребления на электрическое освещение при улучшении условий жизни людей. Светотехника. – 2013. - № 5-6. – С. 62-69.
4. Айзенберг Ю.Б. Светодиоды. М.: Знак, 2013. – 218 с.
5. Алхамсс Я. Многопараметрический контроль светодиодных светильников, питаемых от гальванических батарей, предназначенных для использования в аварийных и полевых условиях. Автореф. кандид. дисс. Саранск, МГУ им. Н.П.Огарева, 2013. - С. 19.
6. Алхамсс Я., Тукшаитов Р.Х. Определение запредельных значений световых потоков маломощных светодиодов разного цвета свечения // Мат. докл. XVIII Междун. молод. науч. конф. студ. и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» // Москва: МЭИ, 2012. – Т. 2. – С. 180.
7. Тукшаитов Р.Х., Алхамс Я., Нигматуллин Р.М., Шириев Р.Р. Методика энергосбережения режима работы портативных светильников в

экспериментальных условиях их эксплуатации // Изв. вузов. Проблемы энергетики. – 2013. - № 3-4. – С. 89-94.

8. Амелькина С.А., Железникова О.Е., Синицына Л.В. О практических рекомендациях по использованию систем освещения со светодиодными источниками света // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. - Саранск, 2015. – С. 123-128.

9. Антонов В., Кузьмин В., Круглов О., Николаев С. Современные средства измерения параметров излучения светотехнических измерений // Lumen&Expertunion, 2012. - № 3. – С. 53-57.

10. Ашрятов А.А., Кокинов А.М., Микаева С.А. Исследование линейных светодиодных ламп // Естественные и технические науки. - 2012. - № 6. - С. 338-353.

11. Ашрятов А.А., Носов Д.А., Голов Д.Ю. Исследование работы светодиодных ламп, предназначенных для замены ламп накаливания // Материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики». – Саранск: СВМО, 2011. – 292 с.

12. Барцев А.А., Беляев Р.И., Эпельфельд И.Д. О работе испытательного центра ООО «ВНИСИ» // Светотехника. - 2011. - № 5. – С. 57-60.

13. Барцев А., Беляев Р., Крючкова Е., Эпельфельд И. Испытательная центр ВНИСИ: новые возможности // Современная светотехника. -2011. - № 4. – С. 26-29.

14. Браун С. Оптимизация параметров и срока службы LED-ламп // Полупроводниковая светотехника. - 2012. - № 6. - С. 34-35.

15. Белов В.В. Математические модели как основа экспериментальных исследований и прогнозирования характеристик объектов исследования // Известия МААО. Вып. № 13. – 2012. –Т. 1. – С. 26-28.

16. Белов В.В., Семенов Ю.Н., Волков Д.Н. Методика исследования светодиодных ламп в условиях теплиц // Проблемы и перспективы развития

отечественной светотехники, электротехники и энергетики: мат. XII научно-технической конференции с международным участие в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. - Саранск: МГУ им. Н.П.Огарева, 2015. - С. 67-71.

17. Бурганетдинова Д.Д., Айхайти Исыхакэфу. К определению значения удельной массы офисных и промышленных светодиодных светильников // 6-я Международная студенческая электронная научная конференция «СТУДЕНЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ 2014». - М.: РАЕ. www.sciencforum.ru/2014/

18. Варфоломеев Л.П. Элементарная светотехника / Под ред. проф. Ю.Б.Айзенберга . - М.: Знак, 2008. – 220 с.

19. Варфоломеев Л.П. О конструировании осветительных приборов со светодиодами и целесообразных областях их применения // Светотехника. – 2011. - № 3 – С. 4-11.

20. Введение в понятия отказов и срока службы светодиодов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.led-all.ru/produkcziya/bezkorpusnyie-svetodiodnyie-moduli> – Загл. с экрана.

21. Входной контроль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroyplan.ru/docs.php?showitem=46917#i113716> – Загл. с экрана.

22. Гао Ю., Деконинк Г., Кеппенс А., Лу Й., Ханселаер П., Чен Х. Определение температуры *p-n* перехода и мощности светодиода по его прямому току // Светотехника. - 2011. - № 2. – С. 44-52.

23. Генрих Азизян. Определение температуры *p-p* перехода в светодиодных кластерах и одиночных светодиодах // Полупроводниковая светотехника. - 2012. - № 6. – С. 31-33.

24. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. СанПиН 2.2.12.1.1.1278-03. - 2003. – 22 с.

25. ГОСТ 24297-87 Входной контроль продукции. Основные положения. Издание официальное. ИПК Изд. Стандартов, Москва. - 8 с.
26. ГОСТ Р 55705-2013. Приборы осветительные со светодиодными источниками света. Общие технические условия. Издание официальное. ИПК Изд. Стандартов, Москва.
27. Горшкова Т.Б., Саприцкий В.М., Столяревская Р.И. Метрологическая база световых измерений в России // Светотехника. - 2011. - № 4. – С. 48-54.
28. Горшкова Т.Б., Рыжков И.В., Саприцкий В.М. Новые возможности измерения фотометрических и колориметрических величин светодиодной продукции // Светотехника. - 2013. - № 1.- С. 59-61.
29. Грицай О.Л., Рожкова Т.А., Дергунова Н.Н. Роль аккредитованной испытательной лаборатории в оценке соответствия // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. - Саранск, 2015. – С. 393-397.
30. Гуцайт Э.М. Расчеты светодиодных устройств // М.: МЭИ. – 56 с.
31. Дергунова Н., Макеева И., Рожкова Т. О разработке новых методик испытаний энергоэффективных источников света на ресурс // Современная светотехника. - 2012. - № 4. - С. 30-33.
32. Дохтуров В., Смирнов С. Временная и тепловая стабильность параметров полупроводниковых источников света при ускоренных испытаниях // Полупроводниковая светотехника. – 2014. - № 6. – С. 42-45.
33. Евдасёв И. Рейтинг осветительных установок для освещения производственного цеха. Этап 1. Анализ проектов // Lumen&Expertunio. – 2012. - № 2. - С. 83-115.
34. Евдасёв И. Рейтинг осветительных установок для освещения офисных помещений // Lumen&Expertunio. – 2012. - № 2. - С. 116-137.
35. Жизнь после жизни: ТМ-21 предсказывает // Полупроводниковая светотехника. - 2012. - № 1. - С. 52-54.

36. Конопельченко А. Источники питания для светильников ЖКХ // Современная светотехника. - 2012. - № 2. - С. 54-57.
37. Коробко А.А., Черняк А.Ш. О новом стандарте на осветительные приборы // Светотехника. - 2011. - № 2. – С. 70-71.
38. Завершена первая российская экспертиза светодиодных ламп // Современная светотехника. - 2012. - № 3. – С. 3-6.
39. Иванова В.Р. Разработка новых показателей для входного контроля качества светодиодов // Изв. вузов. Проблемы энергетики. – 2011. - № 6-7. – С. 108-160.
40. Иванова В.Р. Контроль параметров маломощных светодиодов при проектировании осветительных устройств на основе исследования их характеристик. Автореферат кандид. дисс. на соис. учен. степ. канд. технич. наук. - Казань: КГЭУ, 2012. - С. 16.
41. Кабанов О.В., Панфилов С.А. Влияние качества электроэнергии на работу энергосберегающего оборудования // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. - Саранск, 2015. – С. 526-533.
42. Качество [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inventech.ru/lib/predpr/predpr0037/> - Загл. с экрана.
43. Кильмямятов Денис Р., Кильмямятов Диас Р., Сеницына Л.В. О возможности использования светильников со светодиодными источниками света в промышленном освещении// Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. - Саранск, 2015. – С. 109-112.
44. Ключник А., Абалов А. Тепло ли тебе, матрица? // Полупроводниковая светотехника. – 2014. - № 3. – с. 6-9.
45. Корнич А. Обзор конфигурации систем активного охлаждения мощных светодиодных светильников // Современная светотехника. – № 3. – 2014. – С. 23-28.

46. Криваткин А., Сакуненко Ю. Теплоотражающие пластмассы – вызов алюминию // Полупроводниковая светотехника. – 2010. - № 1. – С. 54-56.
47. Крис Ляо. Тестовая лаборатория Edison Opto // Полупроводниковая светотехника. - 2013. - № 2. - С. 32-33.
48. Куршев А. Девять этапов контроля качества продукции, изготавливаемой по уникальной технологии удаленного люминофора // Полупроводниковая светотехника. – 2014. - № 2. – С. 20-23.
49. Леонидович А. Контроль качества светотехнических изделий // Полупроводниковая светотехника. - 2013. - № 6. - С. 30-32.
50. «Лисма» и «Цзин Тай Син» будут сотрудничать в производстве светодиодных ламп в Саранске // Светотехника. – 2015. - № 3. – С. 9. [www/loighrussia.ru](http://www.loighrussia.ru).
51. Литюшкин В.В. Обращение в Министерства и ведомства. Заместителю Председателя Правительства Российской Федерации А.Д.Дворковичу // Светотехника. – 2-15. - № 3. – С. 62-63.
52. Лон Т., Лю М., Шэнь Х. Компьютерное исследование влияние конструктивных параметров на КПД светильников со светодиодами и отражателем // Светотехника. - 2013. - № 3. - С. 43-47.
53. Линейка радиаторов серии IglooSP для подвесных светодиодных светильников мощностью 100-250 Вт от GlacialTech // Полупроводниковая светотехника. – 2015. - № 1. - С. 63.
54. Маркова Е.В., Родин В.В. Метрологическое обеспечение производства и испытания источников света // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. - Саранск, 2015. - С. 470-473.
55. Микаева С.А., Ашрятов А.А. Контроль и диагностика исследования светодиодных ламп // Вестник Московского государственного университета

приборостроения и информатики. Серия: Приборостроение и информационные технологии. 2013. - № 47. - С. 25-41.

56. Миллер К., О-ной. Измерение параметров светотехнических изделий со светодиодами / Пер. с англ. М. В. Рыжкова // Светотехника. - 2007. - № 6. - С. 40-42.

57. Митч Сайерс. Питание светодиодов высокими токами. Как использовать резерв мощности светодиодов и сократить расходы // Полупроводниковая светотехника. - 2013. - № 2. - С. 66-67.

58. Нэн Джанг (Nan Jang), Джеймс Новак (James Novak), Зви Янив (Zvi Yaniv). Новые подход к организации охлаждения мощных светодиодов // Современная светотехника. - 2012. - № 5. - С. 60-63.

59. Николаев Д., Феопентов А. Основы теплового менеджмента при конструировании ПСП // Полупроводниковая светотехника. – 2010. - № 1. – С. 44-47.

60. Никифоров С.Г., Архипов А. Лаборатория исследований световых технологий «Л.И.С.Т» - первый в россии независимый аттестованный испытательный центрн в области метрологии излучения полупроводников и традиционных источников света // Полупроводниковая светотехника. – 2011. № 2. – С. 30-38.

61. Никифоров С.Г. Система параметров светодиодов. Электрические, фотометрические, спектральные (колориметрические и энергетические характеристики // Полупроводниковая светотехника. – 2011. - № 5. – С.16-27.

62. Никифоров С.Г. Слово от редактора // Полупроводниковая светотехника. - 2015. - № 5. – С. 7.

63. Обнаружена причина падения эффективности светодиодов при увеличении тока // Современная светотехника. - 2013. - № 5. – С. 102.

64. Общие требования к входному контролю [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroyplan.ru/docs.php?showitem=46917> – Загл. с экрана.

65. Орлов А.И. Проверка согласованности мнений экспертов в модели независимых парных сравнений // В сб.: Экспертные оценки в системном анализе. Труды ВНИСИ. М.: ВНИСИ, 1979. - С. 37-46.
66. Орлов А.И. Допустимые средние в некоторых задачах экспертных оценок и агрегирования показателей качества // В сб.: Многомерный статистический анализ в социально-экономических исследованиях. М.: наука, 1974. - С. 388-393.
67. Патент РФ на полезную модель № 95214, 2010. Схема подключения светового прибора в сеть переменного тока.
68. Панфилов С.А. Автоматизация измерений и контроля характеристик светодиодов // Ползуновский вестник, 2011. - № 3. –С. 207-209.
69. Питер Шекл. Бездрайверные светодиодные излучатели с КПД до 93% и без мерцания // Современная светотехника. – 2014. - № 6. – С. 50-51.
70. Положение о конкурсе на Евразийскую светотехническую премию. – Светотехника. – 2015. - № 3. – С. 4-6.
71. Постановление Правительства РФ от 20 июля 2011 г. № 602 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемых в цепях переменного тока в целях освещения»
72. Прокофьев А. Рейтинг промышленных светодиодных светильников // Современная светотехника. - 2012. - № 1. - С. 3-13.
73. Пчелин В.М. К вопросу об оценке энергоэффективности // Светотехника. - 2013. - № 5-6. - С. 70-71.
74. Рейтинг светодиодных офисных светильников // Современная светотехника. – 2011. - № 3. – С. 1-14.
75. Рейтинг светодиодных светильников ЖКХ // Современная светотехника. - 2011. - № 4. - С. 8-20.
76. Рейтинг светодиодных источников питания. Комментарий редакции // Современная светотехника. - 2012. - № 3. - С. 3-5.

77. Рейтинг промышленных светодиодных светильников // Современная светотехника. - 2013. - № 4. - С. 3-23.
78. Рейтинг светодиодных ламп-ретрофитов // Современная светотехника, 2013. - № 5. - С. 9-22.
79. Рейтинг светильников для подвесных потолков типа «Армстронг» и «Грильято» // Современная светотехника. – 2014. - № 1. – С. 2-17.
80. Рожанский И.В, Закгейм Д.А. Анализ причин падения эффективности электролюминесценции светодиодных гетероструктур AlGaInN при большой плотности тока накачки // Физика и техника полупроводников. – 2006. – Т. 40. - Вып. 7. - С. 861 - 867.
81. Рыжков М.В. Новости в области светодиодов и их применения // Светотехника. - 2011. - № 5. – С. 57-60.
82. Сакуненко Ю., Кондратенко В. Двухстороннее охлаждение высокомошных светодиодных кластеров // Полупроводниковая светотехника. 2014. - № 3. – С. 10-11.
83. «Световые технологии»: LED-светильники для производственных помещений // Современная светотехника. - 2015. - № 2. – С. 36-37.
84. Светодиоды и их применение / Под общей редакцией акад. АЭН РФ Ю.Б.Айзенберга // М.: Знак, 2012. - 280 с.
85. Светлов А. Выбор источника питания для светодиодных приложений // Современная светотехника. - 2012. - № 3. - С. 6-12.
86. Смольяникова Н.В, Фалина Е.Ф., Сагун В.А. Анатомия и физиология : учебник. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 576 с.
87. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б.Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак, 2006. – 952 с.
88. Стамп Б. Новые методы проектирования и производства для создания светодиодных ламп 3Д // Современная светотехника. – 2014. - № 3. – С. 9-11.

89. Суханов И. Термоменеджмент - основа в проектировании светодиодного светильника // Современная светотехника. - 2012. - № 5. - С. 58-59.
90. Трофимов Ю. Как занять место под светодиодным солнцем? Постулаты развития светодиодной техники // Современная светотехника. - 2010. - № 1. - С. 14-17.
91. Тукшаитов Р.Х. Основы оптимального представления статистических показателей на графиках, диаграммах и в таблицах / Казань: КГЭУ, 2006. - 227 с.
92. Тукшаитов Р.Х. Вопросы, сдерживающие разработку и эксплуатацию различных светотехнических устройств // Сборник научных трудов «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сб. науч. тр. VII научно-технической конференции. - Саранск: МГУ им. Н.П.Огарева, 2009. - С. 21-24.
93. Тукшаитов Р.Х. Комментарии экспертов // Современная светотехника, 2012. - № 3. - С. 13.
94. Тукшаитов Р.Х. Динамическая светодиодная техника и назревшие ее задачи // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сб. науч. тр. XI научно-технической конференции. - Саранск: МГУ им. Н.П.Огарева, 2013. - С. 3-5.
95. Тукшаитов Р.Х., Исхаков А.Р., Айхайти Исыхакэфу, Гарипов Р.Р. О новых возможностях способах повышения срока службы светодиодных ламп // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сб. науч. тр. XII научно-технической конференции. - Саранск: МГУ им. Н.П.Огарева, 2013. - С. 282-284.
96. Тукшаитов Р.Х., Иванова В.Р., Шириев Р.Р., Писклова Н.В. Разработка новой методики определения КПД осветительных приборов // Изв. вузов. Проблемы энергетики. - 2010. - № 11-12. С. 104-109.

97. Тукшаитов Р.Х., Малышев В.Б. Новые подходы к проектированию и контролю светодиодных светильников // Мат. Межд. научно-практич. конф. «Актуальные вопросы образования и науки». Тамбов: Бизнес-наука, общество, 2014. - С. 122-123.
98. Тукшаитов Р.Х., Нигматуллин Р.М., Недзвецкий Р.Я., Ульянова А.А. К оценке разнообразия наименований параметров светодиодных светильников и необходимости их систематизации // Мат. Международной научно-технической конференции «НИГМАТУЛЛИНСКИЕ ЧТЕНИЯ». Казань: КНИТУ-КАИ, 2013.
99. Тукшаитов Р.Х., Нуруллин Р.Г. Сравнительная оценка эффективности светодиодных и газоразрядных светильников // Современная светотехника, 2010. - № 1. - С. 31-33.
100. Тукшаитов Р.Х., Петрушенко Ю. Я. Некоторые методологические аспекты современной светотехники // Современная светотехника. - 2010. - № 3. - С. 76-80.
101. Тукшаитов Р.Х., Константинов А.И. Технические аспекты реализации программы энергосбережения в соответствии с отечественными нормативными документами // Пленарный доклад на светотехнической секции X11 Международного симпозиума «Энергоэффективность и энергосбережение». Казань, 2012. – С. 156-159.
102. Тукшаитов Р.Х., Нуруллин Р.Г. Сравнительная оценка эффективности светодиодных и газоразрядных светильников // Современная светотехника, 2010. - № 1. - С. 31-33.
103. Тэтри Э. Характеристики ламп прямой замены ламп накаливания // Светотехника. – 2015 - № 3 – С. 37-41.
104. Фомин М.А. Энциклопедия света. - М.: Знак, 2006. – 187 с.
105. Форум «Светотехника: нормы, стандарты, измерительное оборудование» // Полупроводниковая светотехника. - 2014. - № 6. - С. 16.

106. Хейз К. Современные подходы на качественное и недорогое энергоэффективное освещение // Современная светотехника. - 2013. - № 6. - С. 59-61.
107. Чанов Л. Рейтинг офисных светодиодных светильников // Современная светотехника. - 2012. - № 4. - С. 3-19.
108. Черняк А.Ш., Юшков Д.Д. LED-лампы. Независимая экспертиза // Современная светотехника. - 2012. - № 3. - С. 8-15.
109. Черняк А.Ш., Юшков Д.Д. Офисные светодиодные светильники // Современная светотехника. - 2012. - № 4. - С. 21-22.
110. Шараханэ А. Поиск формы и размеров радиатора // Полупроводниковая светотехника. - 2013. - № 3. - С. 13-16.
111. Шуберт Ф.Е. Светодиоды / Пер. с англ. Под ред. А.Э.Юновича. - 2-ое изд. // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496 с.
112. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие / С.М.Гвоздев, Д.И.Панфилов, В.Д.Поляков и др.; под ред. Л.П.Варфоломеева. - М.: изд. Дом МЭИ, 2013. - 288 с.
113. Evdokimov Y.K., Martemianov S. Continuously distributed sensors for steady-state temperature profile measurements: main principles and numerical algorithm // International journal of heat and mass transfer. 2004. - Т. 47. - № 2. - P. 329-340.
114. Aizenberg, Y.B. The development strategies and tactics of the Russian lighting industry: Addressing the target of decreasing illumination power consumption by half whilst improving living conditions // Light & Engineering. - 2014. - Vol. 22. - № 1. - P. 29-39.
115. Bulashevich K. A. and Karpov, S. Yu. "Is Auger recombination responsible for the efficiency rollover in III-nitride light-emitting diodes?", *phys. stat. solidi (c)*, **5**, pp. 2066-2069 (2008).
116. Bulashevich K. A. , Khokhlev O. V., Evstratov I. Yu. , and Karpov S. Yu. Simulation of light-emitting diodes for new Light-Emitting Diodes: Materials,

Devices and Applications for Solid-State Lighting XVI”, Proc. of SPIE, vol. 8278 (2012).

117. Bhattacharyya, S., Cobben, J.F.G. & Kling, W.L. Harmonic current pollution in a low voltage network. Proceedings of the 2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Minneapolis, Minnesota, 25-29 July 2013.

118. Ceramic Heatsink Provides Innovative Thermal Management//Power Electronics Europe, №2, 2008 – P. 32-33.

119. Commission Regulation (EC) No.244/2009 of 18 March 2009. Implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to eco design requirements for non-directional household lamps. Official Journal of the European Union.

120. Costs and benefits of harmonic current reduction for switch-mode power supplies in a commercial office building. Key, Thomas , Lai, Jih-Sheng . IEEE October 1995.

121. Fletcher R.M., Kuo C.P., Osentowski T.D/, Huang K.H/., and Craford M.G. The growth and properties of high performance AlIn GaP emitters using lattice mismatched GaP window layers // J. Electron. Mater/ 20/ - 1991. – P. 1125.

122. <http://geektims.ru/post/251020/>

123. Jaehee Cho, E. Fred Schubert, and Jong Kyu Kim Efficiency droop in light-emitting diodes: Challenges and Countermeasures Laser Photonics Rev., 1–14 (2012) / DOI 10.1002/lpor.201200025/

124. Kramer M.R. et al. High-brightness AlGaInN light emitting diodes // Proc/ SPIE . – 2. - 2000. – P. 3938.

125. LED light comparisons and savings//PDF-документ из раздела Downloads сайта компании Joliet Technology (<http://www.joliet-led-streetlight.com/>).

126. LED–лампы. Независимая экспертиза // Современная светотехника, 2012. - № 3. - С. 8-15.

127. Li ,Z.Q., Simon Li, Z.M. Comprehensive modeling of superluminescent light-emitting diodes // IEEE J. Quantum elect. - 2010. - Vol. 46. – № 4 - P. 454-461.
128. Key, Thomas, Lai, Jih-Sheng. Costs and benefits of harmonic current reduction for switch-mode power supplies in a commercial office building.. IEEE October, 1995.
129. Kogan, Y.M. Analysis of the factors, which influence consumption of electric power for illumination of households in Russia and in the USA // Light & Engineering. –2014. – Vol. 22, № 2. – P. 38–42.
130. Peter Robertt Boyce. Human Factors in Lighting/ 703 p.
131. Raunio, J. Hehkulamppujen korvaaminen sisavalaistuksessa (in Finnish; Replacing incandescent lamps in indoor lighting) // Aalto University School of Science and Technology, Master's Thesis, 2010.
132. Rolamo, N. LED lamps – photometric and electrical performance // Aalto University School of Electrical Engineering, Master's Thesis, 2014.
133. Sauter G. 1996 Goniophotometry : new calibration method and instrument design // Metrologia .-1996/- vol. 32(1995/96). – P. 685.
134. Tetri, E., Sarvaranta, A., Syri, S. Potential of new lighting technologies in reducing household lighting energy use and CO2 emissions in Finland // Energy Efficiency. – 2014. – No. 7. – P. 559–570.
135. Valberg A. Light, Vision, Colou. – New York: Wiley, 2005.
136. Zakheim D.A. , Pavluchenko A. S. and D. A. Bauman. Blue LEDs – way to overcome efficiency droop// Physica Status Solidi (c) Volume 8, Issue 7-8. – 2011. - P. 2340–2344.

ПРИЛОЖЕНИЯ 1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ



КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ДИПЛОМ

I степени

НАГРАЖДАЕТСЯ

участник X Международной молодежной
научной конференции "Тинчуринские чтения"

Айхайти Исыхакэфу

аспирант

КГЭУ

за высокий научный уровень представленного доклада



Ректор

Э.Ю. Абдуллазянов



Казань, 25-27 марта 2015 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ



КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ДИПЛОМ

I степени

НАГРАЖДАЕТСЯ

участник X Международной молодежной
научной конференции "Тинчуринские чтения"

Айхайти Исыхакэфу

аспирант

КГЭУ

за высокий научный уровень представленного доклада



Ректор

Э.Ю. Абдуллазянов



Казань, 25-27 марта 2015 г.

ПРИЛОЖЕНИЯ 2**ФЕРЕКС**

ИНН 1624012390 - КПП 162401001 - ОГРН 1101690054696 - р/с 4070281046200001149
Отделение «Банк Татарстан №8610» г. Казань
БИК 049205603 к/с 30101810600000000603

Юридический адрес: 422624, РТ, Лаишевский р-н с. Столбище, ул. Совхозная, д. 4Б
Фактический адрес: 422624, РТ, Лаишевский р-н с. Столбище, ул. Совхозная, д. 4Б

Телефон: +7 (843 78) 4-10-13
E-mail: office@fereks.ru

www.fereks.ru

Исх. № 311

Аспиранту из КНР
Айхайти Исыхакэфу

От 06.05.2015

СПРАВКА

об использовании результатов диссертационной работы

аспиранта из КНР Айхайти Исыхакэфу

Результаты исследований Айхайти Исыхакэфу представляют определенный научный и практический интерес и успешно используются в нашей фирме, в том числе при проведении сравнительной оценки светильников других фирм и подготовке технической документации.

Директор
ООО «ТД «Ферекс»



И.Х. Курмаев



СПРАВКА
о применении результатов исследований и методик
контроля качества светильников Айхайти Исыхакэфу

Результаты исследований и измерительные установки Айхайти Исыхакэфу успешно находят применение на нашем предприятии. Они позволяют за небольшой промежуток времени и с привлечением простых средств оценить качество поступающей и производимой продукции.

Генеральный директор

ООО «Диодные технологии»



Юнусов Р.Ш.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования



КГЭУ

«КАЗАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

(ФГБОУ ВПО «КГЭУ»)

ПРОРЕКТОР
ПО НАУЧНОЙ РАБОТЕ

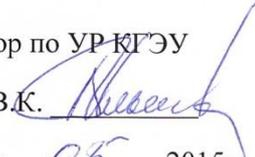
Красносельская ул., д. 51, Казань, 420066
тел./факс (8-843) 519-43-55, 527-92-54
E-mail: kgeu@kgeu.ru

№ _____

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР КГЭУ

Ильин В.К. 

« 12 » 05 2015 г.

СПРАВКА

об использовании результатов разработок Айхайти Исыхаэфу в учебном процессе

Результаты диссертационной работы Айхайти Исыхаэфу успешно используются на кафедре «Светотехника и медико-биологическая электроника» при чтении лекций, а также при проведении практических занятий и лабораторных работ по курсам «Проектирование осветительных установок» и «Светотехническая метрология» и «Методы контроля качества светодиодных устройств»

Зав. кафедрой «Светотехника и
медико-биологическая электроника»
к.ф.-м.н., доцент



Садыков М.Ф.