

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 858 842** (13) **C1**(51) МПК
[G01J 1/02 \(2006.01\)](#)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.03.2026)
 Пошлина: учтена за 5 год с 02.12.2029 по 01.12.2030. Установленный срок для уплаты пошлины за 6 год: с 02.12.2029 по 01.12.2030. При уплате пошлины за 6 год в дополнительный 6-месячный срок с 02.12.2030 по 01.06.2031 размер пошлины увеличивается на 50%.

Начисление для уплаты пошлины за поддержание патента в силе

(52) СПК
[G01J 1/02 \(2026.01\)](#)

(21)(22) Заявка: [2025133521](#), 01.12.2025
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.12.2025
 Дата регистрации:
24.03.2026
 Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: **01.12.2025**
 (45) Опубликовано: [24.03.2026](#) Бюл. № [9](#)
 (56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: **RU 2547163 C1, 10.04.2015. RU**
2721665 C1, 21.05.2020. US 7508503 B2,
24.03.2009. US 9267983 B2, 23.02.2016.
 Адрес для переписки:
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая
Морская, 67, лит. А, ГУАП, ЦКНИ

(72) Автор(ы):
Кузьменко Владимир Павлович (RU),
Солёный Сергей Валентинович (RU),
Ненашев Вадим Александрович (RU),
Козлов Михаил Дмитриевич (RU)
 (73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения" (RU)

(54) Способ измерения характеристик светодиодных источников света при сопряженном воздействии температуры и влажности и устройство для его осуществления

(57) Реферат:

Изобретение относится к области измерительной техники и касается способа измерения характеристик светодиодных источников света при сопряженном воздействии температуры и влажности. Способ заключается в том, что определяют максимальное значение мощности излучения исследуемого источника излучения, настраивают время интегрирования приемника, измеряют величины силы излучения по трем координатам, измеряют спектральное распределение энергии излучения исследуемого источника излучения. Измерения осуществляют внутри герметичной интегрирующей сферы. Перед началом измерений задают матрицу сочетаний температуры окружающей среды и относительной влажности. После завершения измерений для всех сочетаний из матрицы температуры и относительной влажности проводят статистическую обработку полученных данных методом наименьших квадратов с определением коэффициентов влияния температуры и относительной влажности на деградацию светового потока исследуемого источника излучения. Технический результат заключается в повышении достоверности и полноты экспериментальных данных о долговременной стабильности фотометрических и спектральных характеристик при воздействии комплекса стрессовых климатических

факторов. 2 н.п. ф-лы, 3 ил., 2 табл.



Фиг. 2

Изобретение относится к измерительной технике, в частности к средствам и способам экспериментального определения светотехнических и спектральных характеристик полупроводниковых (светодиодных) источников света (СИС) в условиях, имитирующих реальную стрессовую эксплуатационную среду (повышенная температура, влажность, термо-, УФ-стресс), и может быть использовано при разработке и испытаниях СИС и осветительных приборов на их основе, предназначенных для применения в экстремальных условиях эксплуатации, в том числе в аэрокосмических системах.

Существующие способы испытаний светодиодов часто проводятся в нормальных или стандартизированных климатических условиях, что не позволяет в полной мере прогнозировать их надежность и сохраняемость параметров в условиях реальной эксплуатации, сопряженной с комплексным воздействием агрессивных факторов.

Известен «Способ ускоренных деградационных испытаний светодиодной лампы на основе ступенчатого стресса» по патенту CN 103292982 В [1].

Указанный способ, будучи ориентированным на статистическую оценку надежности светодиодного осветительного прибора как системы путем его декомпозиции на подсистемы, не в полной мере решает задачу экспериментального получения метрологически прослеживаемых данных о параметрах светодиодного источника света в процессе сопряженного воздействия температуры и влажности. В отличие от заявляемого решения, где интегрирующая сфера выполняет функцию герметичной камеры со встроенными активными элементами климатического воздействия (термоэлектрический охладитель, резистивный нагреватель, пьезоувлажнитель), в аналоге отсутствует какая-либо специализированная аппаратура для обеспечения стабильных и контролируемых условий непосредственно в зоне оптических измерений. Кроме того, аналог не содержит технических средств для управления точкой росы, что является критически важным для работы в условиях высокой влажности и исключения конденсата, влияющего на достоверность результатов. Таким образом, рассмотренный аналог не предоставляет возможности для прямого и воспроизводимого измерения функциональных зависимостей деградации светотехнических и спектральных параметров источника света от сочетанного воздействия температуры и влажности, что составляет сущность заявляемого изобретения.

Недостатком способа является отсутствие возможности для прямого и воспроизводимого измерения функциональных зависимостей деградации светотехнических и спектральных параметров источника света от сочетанного воздействия температуры и влажности, что составляет сущность заявляемого изобретения.

Известен «Способ прогнозирования деградации светодиодов и светодиодных модулей» по патенту UA 88970 U [2]. В указанном способе осуществляется контроль светового потока и температуры р-п-перехода в процессе испытаний. Однако данный аналог ограничивается воздействием лишь одного стресс-фактора - температуры, что не позволяет моделировать реальные условия эксплуатации, в которых

синергетическое воздействие температуры и влажности является основным драйвером ускоренной деградации.

Недостатком способа является учет воздействия лишь одного стресс-фактора - температуры, что не позволяет моделировать реальные условия эксплуатации, в которых синергетическое воздействие температуры и влажности является основным драйвером ускоренной деградации световых характеристик светодиодных источников света.

Известны общепринятые международные методики испытаний светодиодных источников света, такие как IES LM-80, IES TM-21 и CIE 127 [3-5]. Стандарт IES LM-80 регламентирует проведение длительных испытаний при фиксированных температурах окружающей среды и постоянном токе питания с измерением сохранения светового потока и изменения цветности. Стандарт IES TM-21 устанавливает процедуру экстраполяции данных, полученных по LM-80, для прогнозирования срока службы, однако с ограниченным горизонтом экстраполяции. Стандарт CIE 127 определяет методики фотометрических измерений одиночных светодиодов и не касается вопросов климатических воздействий или прогнозирования деградации.

Несмотря на свой универсальный характер и значение для обеспечения сопоставимости данных, указанные стандартизированные методики обладают рядом принципиальных ограничений в контексте задач оценки стойкости светодиодных источников света к комбинированному термовлажностному воздействию. В частности, они ориентированы на испытания в стабилизированных температурных условиях и не предусматривают управления влажностью, воздействия ультрафиолетового излучения или механических нагрузок.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому способу является «Способ измерения параметров и характеристик источников излучения» (Патент РФ №2547163, МПК G01J 1/00, опубл. 10.04.2015, бюл. №10), заключающийся в расположении приемника оптического излучения в освещаемой/облучаемой зоне исследуемого источника излучения, определении максимального значения мощности излучения источника излучения в зоне анализа приемника оптического излучения, измерении величины силы излучения источника излучения по двум координатам, измерении спектрального распределения энергии излучения источника излучения, расчете спектральных, энергетических и цветовых (для источников излучения видимого диапазона спектра) параметров и характеристик источника излучения, причем перед началом измерений задают параметры измерений исследуемого источника излучения, затем на основе определенного максимального значения мощности излучения источника излучения производят настройку времени интегрирования приемника оптического излучения, дополнительно измеряют величину силы излучения источника излучения по третьей координате, при этом приемник оптического излучения закрепляют с возможностью его перемещения по трем координатам, а измерения осуществляют в непрерывном режиме, с одновременным выводом результатов измерений на видеоконтрольное устройство, далее анализируют параметры и характеристики исследуемого источника излучения путем сравнения полученных результатов измерений с эталонными для исследуемого источника излучения, а результаты анализа выводят на видеоконтрольное устройство, при этом в качестве приемника оптического излучения применяют волоконно-оптический спектрометр.

Недостаток способа-прототипа заключается в том, что все измерения проводятся в нормальных, неконтролируемых климатических условиях. Это не позволяет использовать его для решения задачи экспериментального определения долговременной стабильности и прогнозирования ресурса источников оптического излучения в условиях, имитирующих реальную эксплуатацию.

Известна система фотометрической и электрической интегрирующей сферы LPCE-2 (LMS-9000) фирмы Lisun Electronics (Shanghai) Co., Ltd. [6], содержащая интегрирующую сферу с диффузно-отражающим покрытием, приемник оптического излучения в виде спектрорадиометра, оптоволоконный ввод, источники питания и средства регистрации и обработки измерительной информации, предназначенная для измерения фотометрических, колориметрических и электрических параметров светодиодных источников света.

Недостатком устройства является отсутствие возможности проведения измерений характеристик светодиодных источников света при заданном и регулируемом сочетании температуры и относительной влажности в замкнутом объеме интегрирующей сферы.

Наиболее близким из числа известных технических решений является «Способ измерения параметров и характеристик источников излучения» (Патент РФ №2547163, МПК G01J 1/00, опубл. 10.04.2015, бюл. №10), в котором описано устройство, характеризующееся как устройство для контроля источников излучения, которое содержит устройство крепления исследуемого источника излучения, приемник оптического излучения, имеющий входное окно, устройство крепления приемника оптического излучения, подвижное устройство, блок управления подвижным устройством, блок управления исследуемым источником излучения, блок управления и обработки информации, блок питания. Приемник оптического излучения соединен с блоком управления и обработки информации. Входное окно приемника оптического излучения зафиксировано в устройстве крепления приемника оптического излучения.

Недостатком устройства-прототипа является отсутствие возможности проведения измерений характеристик светодиодных источников света при заданном и регулируемом сочетании температуры и относительной влажности в замкнутом объеме интегрирующей сферы. Внутренние климатические параметры либо не регулируются, либо ограничиваются только контролем температуры без управления влажностью, что не позволяет:

- моделировать реальные условия эксплуатации светодиодных источников света при повышенной влажности и вблизи точки росы;
- проводить длительные испытания при сопряженном воздействии температуры и влажности;
- предотвращать образование и управлять удалением конденсата с внутренней поверхности сферы и элементов оптической схемы без прерывания измерительного цикла.

Задачей заявляемого изобретения является обеспечение возможности комплексного ускоренного испытания СИС в контролируемых условиях, моделирующих реальную стрессовую эксплуатационную среду, включая повышенную температуру, влажность, их циклическое изменение.

Техническим результатом является повышение достоверности и полноты экспериментальных данных о долговременной стабильности фотометрических (световой поток, сила света, цветовые координаты) и спектральных (пиковая длина волны, полуширина спектра, индекс цветопередачи) характеристик светодиодных источников света путем их контроля в процессе непрерывного или циклического воздействия комплекса стрессовых климатических факторов.

Технический результат (в способе) достигается тем, что в способе измерения характеристик светодиодных источников света при сопряженном воздействии температуры и влажности, заключающемся в том, что приемник оптического излучения располагают в освещаемой/облучаемой зоне исследуемого источника излучения, определение максимального значения мощности излучения исследуемого источника излучения в зоне анализа приемника оптического излучения, настройку времени интегрирования приемника оптического излучения на основании указанного максимального значения, непрерывное измерение величины силы излучения исследуемого источника излучения по трем координатам путем перемещения приемника оптического излучения подвижным устройством, измерение спектрального распределения энергии излучения исследуемого источника излучения, расчет спектральных, энергетических и цветовых (для источников излучения видимого диапазона) параметров и характеристик исследуемого источника излучения, отображение результатов измерений на видеоконтрольном устройстве, анализ параметров и характеристик исследуемого источника излучения путем сравнения полученных результатов измерений с эталонными значениями, при этом измерения осуществляют внутри герметичной интегрирующей сферы с внутренним диффузно-отражающим покрытием, перед началом измерений дополнительно задают матрицу сочетаний температуры окружающей среды и относительной влажности, поочередно устанавливают каждое сочетание температуры и относительной влажности с помощью термоэлектрического охладителя, резистивного нагревателя и ультразвукового увлажнителя, размещенных внутри интегрирующей сферы, после стабилизации условий осуществляют указанные измерения в непрерывном режиме и записывают временные ряды светового потока, спектрального распределения энергии, температуры р-п-перехода, тока и напряжения питания, при достижении точки росы восстанавливают разность между текущей температурой внутри интегрирующей сферы и температурой точки росы не менее двух градусов Цельсия, после завершения измерений для всех сочетаний из матрицы температуры и относительной влажности проводят статистическую обработку полученных данных

методом наименьших квадратов с определением эмпирических коэффициентов влияния температуры и относительной влажности на деградацию светового потока исследуемого источника излучения и выводят результаты обработки на видеоконтрольное устройство.

Технический результат (в способе) достигается тем, что совокупность указанных отличительных действий обеспечивает:

- формирование внутри интегрирующей сферы воспроизводимых и пространственно однородных сочетаний температуры и относительной влажности непосредственно в зоне оптических измерений;
- регистрацию временных рядов светотехнических и спектральных характеристик при установившихся и переходных режимах термовлажностного воздействия;
- управление положением точки росы и исключение влияния конденсата на элементы оптической схемы без нарушения герметичности и прерывания измерительного цикла;
- получение эмпирических коэффициентов влияния температуры и относительной влажности на деградацию светового потока и спектральных параметров.

В совокупности это приводит к повышению достоверности и полноты экспериментальных данных о долговременной стабильности светодиодных источников света в условиях сопряженного термовлажностного воздействия по сравнению с прототипом, в котором климатические параметры измерительной зоны не контролируются.

Технический результат (в устройстве) достигается тем, что устройство для реализации способа измерения характеристик светодиодных источников света при сопряженном воздействии температуры и влажности, содержащее устройство крепления исследуемого источника излучения, приемник оптического излучения, входное окно, устройство крепления приемника оптического излучения, блок управления и обработки информации, подвижное устройство и исследуемый источник излучения, в котором качестве устройства крепления исследуемого источника излучения, устройства крепления приемника оптического излучения используется интегрирующая сфера, выполненная герметичной и образующая замкнутую измерительную полость, причем внутри интегрирующей сферы установлены термоэлектрический охладитель и резистивный нагреватель, ультразвуковой увлажнитель, датчик температуры и относительной влажности, дренажный узел, подвижное устройство, на котором неподвижно закреплен исследуемый источник излучения, причем датчик температуры и относительной влажности электрически соединен с аналоговыми входами блока управления; первый цифровой выход которого соединен с управляющими входами термоэлектрического охладителя и резистивного нагревателя, второй цифровой выход соединен с управляющим входом ультразвукового увлажнителя, третий цифровой выход - с управляющим входом дренажного узла, силовой выход блока управления и обработки информации соединен с питающими входами исследуемого источника излучения, подвижного устройства, дренажного узла, термоэлектрического охладителя и резистивного нагревателя, ультразвукового увлажнителя, причем дренажный узел выполнен в виде соленоидного клапана, установленного в нижней части интегрирующей сферы.

Технический результат (в устройстве) достигается тем, что герметичное выполнение интегрирующей сферы, размещение внутри нее термоэлектрического охладителя, резистивного нагревателя, ультразвукового увлажнителя, датчика температуры и относительной влажности и дренажного узла, а также их функциональная связь с блоком управления и обработки информации обеспечивают:

- автоматическое поддержание заданных сочетаний температуры и относительной влажности в замкнутом объеме интегрирующей сферы по заданному закону изменения во времени;
- возможность проведения длительных и циклических термовлажностных испытаний без нарушения герметичности измерительной полости;
- управляемое поддержание перепада между текущей температурой воздуха и температурой точки росы, а также оперативный отвод сконденсировавшейся влаги через дренажный узел, что предотвращает образование капель на внутренней поверхности сферы и элементах оптической схемы;
- сохранение условий равномерного рассеянного поля излучения внутри сферы при любой комбинации климатических параметров.

В совокупности указанные конструктивные признаки обеспечивают получение более достоверных и воспроизводимых результатов измерения светотехнических и спектральных характеристик исследуемых источников излучения в условиях

сопряженного воздействия температуры и влажности, что недостижимо с использованием известных устройств-прототипов.

Заявляемый способ осуществляется следующим образом:

1. Приемник оптического излучения (например, волоконно-оптический спектрометр) располагают в освещаемой/облучаемой зоне исследуемого источника излучения; перед началом измерений производят калибровку измерительного оборудования;
2. Подключают источник питания к выводам исследуемого источника излучения, проверяя правильность полярности и надежность соединений;
3. Подают параметры внешних воздействий - температуры и влажности в зоне расположения источника излучения, например, с помощью системы термоэлектрического охлаждения/нагрева и генератора мелкодисперсного аэрозоля; в качестве исходных параметров устанавливают температуру, близкую к комнатной (25°C), и умеренную влажность (~40-60%RH); источник излучения при этом выключен;
4. Осуществляют выдержку исследуемого образца в установленных условиях до установления стационарного температурно-влажностного режима; контроль параметров среды проводят по сигналам термодатчика и датчика влажности, закрепленных вблизи источника излучения; продолжительность выдержки составляет от 15 до 30 минут в зависимости от отклонения текущих параметров от заданных;
5. После стабилизации внешних условий через прецизионный источник питания задают номинальные ток и напряжение питания исследуемого источника излучения;
6. Измеряют и регистрируют исходные светотехнические и спектральные параметры источника излучения: начальный световой поток (Φ_0), спектральное распределение мощности излучения, координаты цветности, ток и напряжение; эти значения фиксируются как базовые для последующего сравнения;
7. Задают последующие значения температуры и влажности в соответствии с планом эксперимента, например, температура: 0, 10, 20, 50°C (четыре уровня), влажность: 40, 60, 80, 90 % (четыре уровня); при температурах ниже 0°C влажность ограничивают или подают порционно для предотвращения конденсации;
8. После установки новых условий проводят выдержку до достижения стационарного состояния, аналогично п. 4;
9. После стабилизации внешних условий включают источник излучения на заданном токе и напряжении и повторяют серию измерений, как указано в п. 6;
10. Измерения осуществляют для каждой комбинации температурно-влажностных условий согласно заранее составленному плану эксперимента; регистрируют в системе сбора данных параметры источника излучения через заданные интервалы времени (например, каждые 100 часов); измеряют величину силы излучения источника излучения, спектральное распределение мощности излучения, световой поток ($\Phi(t_i)$), а также фиксируют ток, напряжение, температуру ($T_{окр}(t_i)$) и влажность ($H_{отн}(t_i)$) в моменты времени t_i ;
11. Для повышения статистической достоверности каждую комбинацию условий исследуют на нескольких идентичных образцах источника излучения; при этом каждый образец используется только при одной комбинации условий, исключая перекрестное влияние;
12. На основании полученных значений выполняют построение 3D распределения освещенности/облученности источника излучения, например, способом аппроксимации, например, приведенном в [7]; расчет спектральных, энергетических и цветовых параметров и характеристик источника излучения производят, например, по формулам, приведенным в [8];
13. Далее осуществляют расчет функции деградации с учетом внешних факторов по следующей модели:

$$\Phi(t) = \Phi_0 \cdot e^{\left(-\int_0^t k_{дегр, \Phi}(T_n(\tau), I_n(\tau)) \cdot f_{внешн}(t) d\tau\right)},$$

где $f_{внешн}(t)$ - функция, учитывающая внешние факторы, такие как влажность и температура, безразмерная величина;

$k_{дегр, \Phi}(T_n(\tau), I_n(\tau))$ - коэффициент деградации светового потока, зависящий от температуры p - n -перехода T_n , прямого тока I_n и учитывающий внутренние процессы старения активной зоны и люминофорного слоя, 1/ч;

τ - переменная интегрирования, описывающая время деградации светодиода, ч;

14. Функция внешнего воздействия записывается в виде:

$$f_{внешн}(t) = 1 + a_H \cdot \ln(H_{отн}(t)) + a_T \cdot (T_{окр}(t) - T_{норм});$$

где $H_{отн}(t)$ - относительная влажность окружающей среды в момент времени t , %;

$T_{окр}(t)$ - температура окружающей среды в момент времени t , °С;

$T_{окр}(t)$ - номинальная температура эксплуатации светодиода, °С;

a_H, a_T - эмпирические коэффициенты, отражающие влияние соответствующих внешних факторов (влажности и температуры);

15. Значение коэффициента деградации $k_{дегр,ф}(T_{п}(τ), I_{п}(τ))$ определяют на основе измерений светового потока источника излучения при номинальных климатических условиях (например, $T_{окр} = 25^{\circ}\text{C}$, $H_{отн} = 60\%$) в течение контрольного временного интервала (например, 500-1000 ч), в котором влияние внешних факторов считается минимальным; регистрируют последовательность значений светового потока $\Phi(t_i)$, измеренных при неизменных значениях $T_{п}$, $I_{п}$, значение коэффициента $k_{дегр,ф}$ в момент времени τ определяют по локальной скорости изменения светового потока, например, по формуле:

$$k_{дегр,ф} = -\frac{d}{d\tau} \ln\left(\frac{\Phi(\tau)}{\Phi_0}\right),$$

где Φ_0 - начальное значение светового потока, зарегистрированное при $\tau = 0$.

16. Для определения коэффициентов a_H, a_T применяют метод наименьших квадратов; нормируют световой поток:

$$y_i = \frac{\Phi(t_i)}{\Phi_0} = 1 + a_H \cdot \ln(H_{отн}(t_i)) + a_T \cdot (T_{окр}(t_i) - T_{норм}),$$

и получают систему линейных уравнений:

$$y_i = a_H \cdot x_{i1} + a_T \cdot x_{i2},$$

где $x_{i1} = \ln(H_{отн}(t_i))$;

$x_{i2} = T_{окр}(t_i) - T_{норм}$.

17. Полученные данные представляют в матричном виде:

$$X^T X \cdot a = X^T y;$$

где X - матрица признаков размером $n \times 2$:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \\ x_{21} & x_{22} \\ \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} \end{bmatrix};$$

a - вектор неизвестных коэффициентов:

$$a = \begin{bmatrix} a_H \\ a_T \end{bmatrix};$$

y - вектор целевых значений:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix};$$

коэффициенты a_H и a_T находятся путем решения системы нормальных уравнений:

$$a = (X^T X)^{-1} X^T y,$$

где $(X^T X)^{-1} X^T$ - псевдообратная матрица;

17. Полученные коэффициенты используют для оценки вклада внешних факторов в деградацию светового потока и построения аппроксимированных моделей изменения характеристик исследуемого источника излучения;

18. В целях документирования результатов испытаний по каждой заданной комбинации температуры окружающей среды и относительной влажности внутри интегрирующей сферы формируется протокол (таблица 1), содержащий сведения, достаточные для воспроизведения процедуры и последующего анализа динамики изменения фотометрических и спектральных характеристик исследуемого светодиодного источника света; для каждого исследуемого образца при каждой комбинации условий температуры и влажности формируют отдельный экземпляр протокола;

в протокол включаются следующие графы:

- время (часы) - наработка образца в заданных климатических условиях;
- температура (градусы Цельсия) - температура в измерительной сфере;

- относительная влажность (проценты) - относительная влажность в измерительной сфере;
- ток (А или мА) - ток питания исследуемого образца;
- напряжение (В) - напряжение на выводах исследуемого образца;
- световой поток (лм) - полный световой поток, измеренный в интегрирующей сфере;
- спектральные характеристики - ссылка на файл/график спектрального распределения мощности излучения и/или идентификатор встроенного графика.

Таблица 1 - Пример содержимого протокола измерений

Время (час)	Температура (°C)	Влажность (RH, %)	Ток (мА)	Напряжение (В)	Световой поток (лм)	Спектральные характеристики
0	20	60	100	3,2	1000	[Файл/График]
100	20	60	100	3,2	999,5	[Файл/График]
...

Пример реализации способа

В качестве примера реализации способа определения коэффициентов влияния внешних параметров на деградацию источников излучения были проведены испытания светодиодных источников излучения типа SMD2835 мощностью 0,5 Вт и 1 Вт.

Перед началом измерений приемник оптического излучения (волоконно-оптический спектрометр) был откалиброван и размещен в интегрирующей сфере. Исследуемые источники излучения закреплялись в центре сферы и подключались к прецизионному источнику питания.

Были заданы параметры внешних воздействий в соответствии с планом эксперимента: относительная влажность 30%, 65% и 90% при температурах окружающей среды 25°C, 35°C и 50°C. Для каждой комбинации условий испытаний использовалось по три идентичных образца.

После стабилизации температурно-влажностных условий измерялись исходные параметры источников излучения: световой поток (Φ_0), спектральное распределение мощности излучения, ток и напряжение. В течение всего времени испытаний (более 8000 часов) с заданными интервалами регистрировались текущие значения светового потока $\Phi(t)$, температуры $T_{\text{окр}}(t)$ и влажности $H_{\text{отн}}(t)$.

На фиг. 1 представлено 3D-распределение светового потока в зависимости от температуры и влажности в момент времени 8000 часов.

По полученным экспериментальным данным методом наименьших квадратов были определены коэффициенты влияния внешних параметров. Для источников излучения мощностью 1 Вт коэффициенты составили $a_H = -0,0371$ и $a_T = -0,0124$, для источников мощностью 0,5 Вт - $a_H = -0,0785$ и $a_T = -0,0038$.

В таблице 2 представлены данные экспериментальных и расчетных значений светового потока.

Таблица 2 - Сравнение экспериментальных и расчетных значений светового потока

Время, ч	$H_{\text{отн}}$, %	$T_{\text{окр}}$, °C	Φ/Φ_0 (эсп.)	Φ/Φ_0 (мод.)
1000	30	25	0,995	0,994
1000	90	50	0,945	0,942
5000	30	25	0,970	0,968
5000	90	50	0,865	0,861
8000	30	25	0,950	0,951
8000	90	50	0,820	0,825

Расчет координат цветности и других параметров производился по формулам, приведенным в [7]. Результаты измерений и расчетов в непрерывном режиме выводились на видеоконтрольное устройство.

Среднеквадратичное отклонение между экспериментальными и модельными значениями не превышало 6%, что подтверждает адекватность предложенной модели и точность определенных коэффициентов влияния.

Таким образом, представленный пример подтверждает работоспособность способа и позволяет определить коэффициенты влияния внешних параметров на деградацию светового потока источников излучения, что обеспечивает возможность прогнозирования их ресурса в различных условиях эксплуатации.

На фиг. 2 и фиг. 3 представлены общий вид устройства и функциональная схема устройства для реализации способа измерения характеристик светодиодных

источников света при сопряженном воздействии температуры и влажности соответственно и введены следующие обозначения:

- 1 - интегрирующая сфера;
- 2 - термоэлектрический охладитель и резистивный нагреватель;
- 3 - ультразвуковой увлажнитель;
- 4 - датчик температуры и относительной влажности;
- 5 - блок управления и обработки информации;
- 6 - дренажный узел;
- 7 - подвижное устройство;
- 8 - исследуемый источник излучения.

Устройство содержит интегрирующую сферу (1), выполненную герметичной и образующую замкнутую измерительную полость с внутренним диффузно-отражающим покрытием, внутри которой установлены термоэлектрический охладитель и резистивный нагреватель (2) и ультразвуковой увлажнитель (3), соединенные с первым и вторым цифровыми выходами блока управления и обработки информации (5), а также датчик температуры и относительной влажности (4), соединенный с аналоговым выходом блока управления и обработки информации (5), при этом в нижней части интегрирующей сферы (1) установлены дренажный узел (6), соединенный с третьим цифровым выходом блока управления и обработки информации (5), и подвижное устройство (7), на котором неподвижно закреплен исследуемый источник излучения (8), при этом подвижное устройство (7) и исследуемый источник излучения (8) соединены с силовым выходом блока управления и обработки информации (5), причем исследуемый источник излучения (8) расположен внутри интегрирующей сферы (1).

В качестве интегрирующей сферы (1) может использоваться, например, ULS-500 (ЦЗЛ, Россия) [9]. В качестве термоэлектрического охладителя и резистивного нагревателя (2), применяются, например, термоэлектрические охладители линейки GISTAR для закрытых объемов и шкафной резистивный нагреватель Klemsan RHR [10], [11]. В качестве ультразвукового увлажнителя (3) может использоваться, например, адиабатический модуль CAREL (серия humiSonic) для мелкодисперсного увлажнения измерительной полости [12].

В качестве датчика температуры и относительной влажности (4) может применяться, например, промышленный датчик E+E Elektronik EE211 (подогреваемый зонд влажности; интерфейсы 4-20 мА/0-10 В/RS-485 Modbus) [13]. В составе блока управления и обработки информации (5) с приемником оптического излучения может использоваться, например, оптоволоконный спектрометр LISUN для измерения спектрального распределения и расчета фотометрических/цветовых параметров [14]. В качестве подвижного устройства (7) может быть использован, например, моторизованный XYZ-стол Standa (три линейные оси X/Y/Z с сервоприводами;) [15]. Дренажный узел (6) может быть выполнен, например, в виде нормально-закрытого соленоидного клапана из нержавеющей стали (резьбовое присоединение, например, G 1/4", питаемого постоянным электрическим током напряжением 12 В), установленного на нижнем штуцере сферы; открытие клапана выполняется автоматически при достижении критерия начала конденсации (абсолютное значение разности между текущей температурой внутри сферы и температурой точки росы меньше 2 градусов Цельсия) и закрывается после восстановления разности не менее 2 градусов Цельсия.

Устройство работает следующим образом:

1) При подаче питающего напряжения на блок управления и обработки информации (5) его силовой выход подает питание на термоэлектрический охладитель и резистивный нагреватель (2), ультразвуковой увлажнитель (3), дренажный узел (6), подвижное устройство (7) и исследуемый источник излучения (8). Одновременно на аналоговые входы блока управления и обработки информации (5) поступают сигналы от датчика температуры и относительной влажности (4) для первичного контроля климатических условий внутри интегрирующей сферы (1).

2) При поступлении команды запуска испытаний (от оператора или по внешнему триггеру) блок управления и обработки информации (5) активирует алгоритм установления первого сочетания температуры и относительной влажности, заданного в матрице режимов. На своем первом цифровом выходе блок управления и обработки информации (5) формирует управляющие сигналы для узла термоэлектрического охлаждения и резистивного нагревателя (2) до достижения требуемой температуры; на втором цифровом выходе - управляющий сигнал для ультразвукового увлажнителя (3) до достижения требуемой относительной влажности. Достижение и удержание

заданных значений контролируется по сигналам с датчика температуры и относительной влажности (4).

3) После стабилизации климатических условий блок управления и обработки информации (5) определяет максимальное значение мощности светового излучения исследуемого источника излучения (8) в зоне анализа приемника оптического излучения и, исходя из этого значения, выполняет настройку времени интегрирования приемника оптического излучения.

4) Для получения зависимости силы света по трем координатам блок управления и обработки информации (5) формирует траекторию перемещений подвижного устройства (7) по координатам X, Y и Z относительно приемника оптического излучения. По командам с блока управления и обработки информации (5) подвижное устройство (7) последовательно достигает заданных положений, в каждом из которых выполняются измерения силы света, спектрального распределения и сопутствующих параметров. Полученные значения записываются во временные ряды блоком управления и обработки информации (5).

5) В процессе измерений блоком управления и обработки информации (5) непрерывно определяется температура точки росы внутри интегрирующей сферы (1) по текущим значениям, получаемым с датчика температуры и относительной влажности (4). При выполнении условия начала конденсации (абсолютное значение разности между текущей температурой внутри сферы и температурой точки росы меньше двух градусов Цельсия) блок управления и обработки информации (5) формирует управляющий сигнал на своем третьем цифровом выходе, переводя дренажный узел (6) во включенное состояние. Дренажный узел (6) остается открытым до восстановления разности температур не менее чем на два градуса Цельсия, после чего автоматически закрывается. Действия дренажного узла (6) выполняются без прерывания измерительного цикла.

6) По завершении установленного временного интервала для текущего сочетания температуры и относительной влажности блок управления и обработки информации (5) завершает серию измерений, формирует команды на изменение климатических параметров (через первый и второй цифровые выходы на термоэлектрический охладитель и резистивный нагреватель (2) и ультразвуковой увлажнитель (3) и переходит к следующему сочетанию матрицы режимов.

7) При завершении испытательного цикла либо при поступлении команды остановки блок управления и обработки информации (5) прекращает формирование управляющих сигналов на ультразвуковой увлажнитель (3), термоэлектрический охладитель и резистивный нагреватель (2) и дренажный узел (6), переводит подвижное устройство (7) в исходное положение и отключает питание исследуемого источника излучения (8).

Источники информации, принятые во внимание:

1. Accelerated degradation testing method for LED lamp based on step stress: пат. CN103292982B. Заявка CN201310219602.1; заявл. 05.06.2013; опублик. 03.06.2015 / Yang Daoguo, Cai Miao, Chen Wenbin, Jia Hongliang, Tian Wanchun, Liu Dongjing; патентообладатель: Guilin University of Electronic Technology. 15 с.

2. Method for prediction of degradation of light-emitting diodes and LED modules: пат. UA88970U. Заявка UAU201311904U; заявл. 09.10.2013; опублик. 10.04.2014 / Belyaiev O. Ye., Konakova R. V., Kudryk Ya. Ya., Sorokin V. M., Shynkarenko V. V., Sheremet V. M.; заявитель и патентообладатель: V. E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine. 8 с.

3. Illuminating Engineering Society. ANSI/IES LM-80-20. Approved Method: Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Packages, Arrays and Modules. New York: IES, 2020.

4. Illuminating Engineering Society. ANSI/IES TM-21-21. Technical Memorandum: Projecting Long-Term Luminous, Photon, and Radiant Flux Maintenance of LED Light Sources. New York: IES, 2021.

5. International Commission on Illumination (CIE). CIE 127:2007. Measurement of LEDs. Vienna: CIE Central Bureau, 2007.

6. Lisun Electronics (Shanghai) Co., Ltd. Integrating Sphere Spectroradiometer LED Testing System LPCE-2 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://in.kompass.com/p/lisun-electronics-shanghai-co-ltd/cn141090/integrating-sphere-spectroradiometer-led-testing-system/43d81efc-bc67-44f6-8451-61c3388841c9/> (дата обращения: 18.11.2025).

7. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. М.: Мир, 1978. С. 173-176.

8. Поршнева С. В. MATLAB 7. Основы работы и программирования: учебник. М.: Бинум Пресс, 2011. С. 209-229.

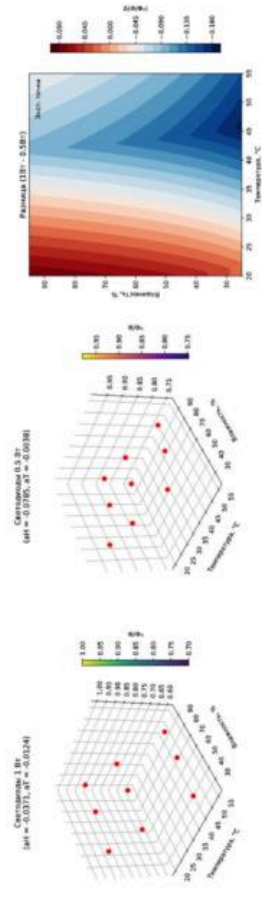
9. Интегрирующая сфера ULS-500 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.czl.ru/catalog/spektr/spectral-measurement-of-light/integrating-spheres/uls500.html> (дата обращения: 25.10.2025).
10. Термоэлектрические охладители Пельтье GISTAR: каталог и подбор [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://gistar.ru/catalog/termoelektricheskie-okhladiteli-pelte/filter/clear/apply/> (дата обращения: 25.10.2025).
11. Шкафные резистивные нагреватели Klemsan, серия RHR [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://klemsan-rus.com/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82/rhr/> (дата обращения: 25.10.2025).
12. CAREL. Ультразвуковые увлажнители (серия humiSonic) [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.carelrussia.com/ultrasonic-humidifiers> (дата обращения: 25.10.2025).
13. E+E Elektronik. Датчик влажности и температуры EE211 (Poltraf) [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://poltraf.ru/vlazhnost/datchiki_vlazhnosti_vozdukha_gazov/ee211/ (дата обращения: 25.10.2025).
14. LISUN. CCD Spectroradiometer [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.lisungroup.com/products/spectroradiometer/ccd-spectroradiometer.html> (дата обращения: 25.10.2025).
15. Standa. Моторизованная трехосевая платформа перемещения (XYZ Motorized Translation Stage) [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://www.standa.lt/products/catalog/custom_engineering?item=616&prod=xyz-motorized-translation-stage (дата обращения: 25.10.2025).

Формула изобретения

1. Способ измерения характеристик светодиодных источников света при сопряженном воздействии температуры и влажности, заключающийся в том, что приемник оптического излучения располагают в освещаемой/облучаемой зоне исследуемого источника излучения, определяют максимальное значение мощности излучения исследуемого источника излучения в зоне анализа приемника оптического излучения, настраивают время интегрирования приемника оптического излучения на основании указанного максимального значения, непрерывно измеряют величину силы излучения исследуемого источника излучения по трем координатам путем перемещения приемника оптического излучения подвижным устройством, измеряют спектральное распределение энергии излучения исследуемого источника излучения, рассчитывают спектральные, энергетические и цветовые, для источников излучения видимого диапазона, параметры и характеристики исследуемого источника излучения, отображают результаты измерений на видеоконтрольном устройстве, анализируют параметры и характеристики исследуемого источника излучения путем сравнения полученных результатов измерений с эталонными значениями, отличающийся тем, что измерения осуществляют внутри герметичной интегрирующей сферы с внутренним диффузно-отражающим покрытием, перед началом измерений дополнительно задают матрицу сочетаний температуры окружающей среды и относительной влажности, поочередно устанавливают каждое сочетание температуры и относительной влажности с помощью термоэлектрического охладителя, резистивного нагревателя и ультразвукового увлажнителя, размещенных внутри интегрирующей сферы, после стабилизации условий осуществляют указанные измерения в непрерывном режиме и записывают временные ряды светового потока, спектрального распределения энергии, температуры р-п-перехода, тока и напряжения питания, при достижении точки росы восстанавливают разность между текущей температурой внутри интегрирующей сферы и температурой точки росы не менее двух градусов Цельсия, после завершения измерений для всех сочетаний из матрицы температуры и относительной влажности проводят статистическую обработку полученных данных методом наименьших квадратов с определением эмпирических коэффициентов влияния температуры и относительной влажности на деградацию светового потока исследуемого источника излучения и выводят результаты обработки на видеоконтрольное устройство.

2. Устройство для реализации способа измерения характеристик светодиодных источников света при сопряженном воздействии температуры и влажности по п. 1, содержащее устройство крепления исследуемого источника излучения, приемник оптического излучения, входное окно, устройство крепления приемника оптического излучения, блок управления и обработки информации, подвижное устройство и исследуемый источник излучения, отличающееся тем, что в качестве устройства

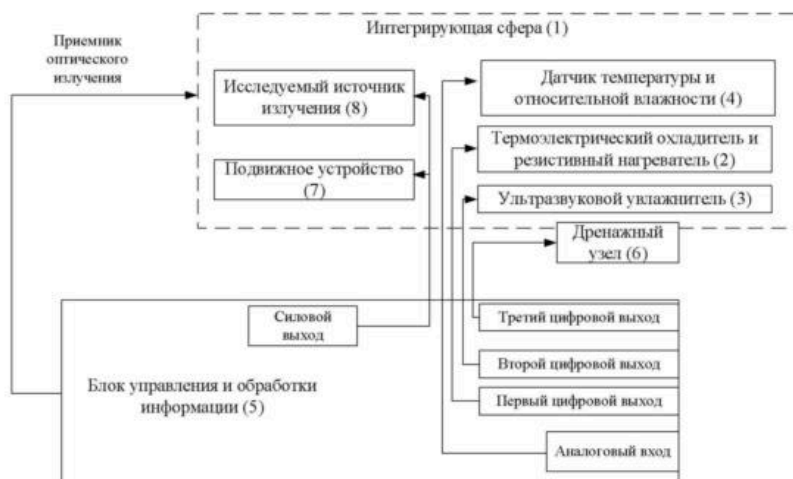
крепления исследуемого источника излучения, устройства крепления приемника оптического излучения используется интегрирующая сфера, выполненная герметичной и образующая замкнутую измерительную полость, причем внутри интегрирующей сферы установлены термоэлектрический охладитель и резистивный нагреватель, ультразвуковой увлажнитель, датчик температуры и относительной влажности, дренажный узел, подвижное устройство, на котором неподвижно закреплен исследуемый источник излучения, причем датчик температуры и относительной влажности электрически соединен с аналоговыми входами блока управления; первый цифровой выход которого соединен с управляющими входами термоэлектрического охладителя и резистивного нагревателя, второй цифровой выход соединен с управляющим входом ультразвукового увлажнителя, третий цифровой выход – с управляющим входом дренажного узла, силовой выход блока управления и обработки информации соединен с питающими входами исследуемого источника излучения, подвижного устройства, дренажного узла, термоэлектрического охладителя и резистивного нагревателя, ультразвукового увлажнителя, причем дренажный узел выполнен в виде соленоидного клапана, установленного в нижней части интегрирующей сферы.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3