

САВКОВА ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И
СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ
ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНЫХ ХОЛОДНО-БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ В
ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ**

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерений

Научный руководитель
кандидат технических наук,

доцент

Колесник Юрий Николаевич

ГОМЕЛЬ, 2022

Цель и задачи

Цель:

Развитие научно-методических основ повышения энергетической эффективности и холодно-белых светодиодов

Задачи:

- проанализировать и оценить взаимосвязи между основными параметрами мощных холодно-белых светодиодов, определяющие оптимальный режим работы светодиодных устройств;
- разработать методику определения оптимального режима работы светодиодов светотехнических устройств путем анализа оптических, тепловых и энергетических характеристик;
- разработать метод и конструкции устройств для определения рассеиваемой мощности, светового излучения, температуры «р-п» перехода и теплового сопротивления мощных холодно-белых светодиодов;
- разработать методику определения остаточного ресурса светодиодных светотехнических устройств путем анализа тепловых и энергетических характеристик;
- разработать методику определения энергетических и оптических характеристик светодиодов при возбуждении постоянным и импульсным током для определения оптимального режима работы светодиодных светотехнических устройств при их проектировании;
- исследовать синтезированные люминофорные покрытия для создания перспективных конструкций светодиодных осветительных устройств.

Объект и предмет

исследования

Объект исследования:

мощные холодно-белые СД, светодиодные модули, люминофорные покрытия, используемые для производства осветительных приборов.

Предмет исследования:

энергетические и оптические характеристики (потребляемая, рассеиваемая, излучаемая мощности СД, световой поток, тепловая энергия, температура «*p-n*» перехода, тепловое сопротивление, энергия светового и теплового излучения, энергетический выход) мощных холодно-белых СД и светодиодных матриц (СДМ), спектрально-люминесцентные свойства новосинтезированных люминофорных материалов.

Положения, выносимые на

защиту:

1.

Методика определения оптимального режима работы светодиодов светотехнических устройств по уточненному критерию минимума стоимости световой энергии, отличающаяся синтезированием измеренных токов, напряжений, температур «*p-n*» переходов светодиодов, излучаемых и рассеиваемых мощностей, что позволяет повысить долговечность и коэффициент полезного действия светодиодов в светотехнических устройствах более чем на 10% по сравнению с их КПД при номинальном режиме работы.

2.

Метод определения рассеиваемой мощности холодно-белыми светодиодами, отличающийся использованием в качестве средств измерения калориметра, что позволяет определять температуру «*p-n*» перехода, тепловое сопротивление, энергию светового излучения, энергетический выход и удешевить измерения более чем в 2,3 раза по сравнению с действующими аналогами.

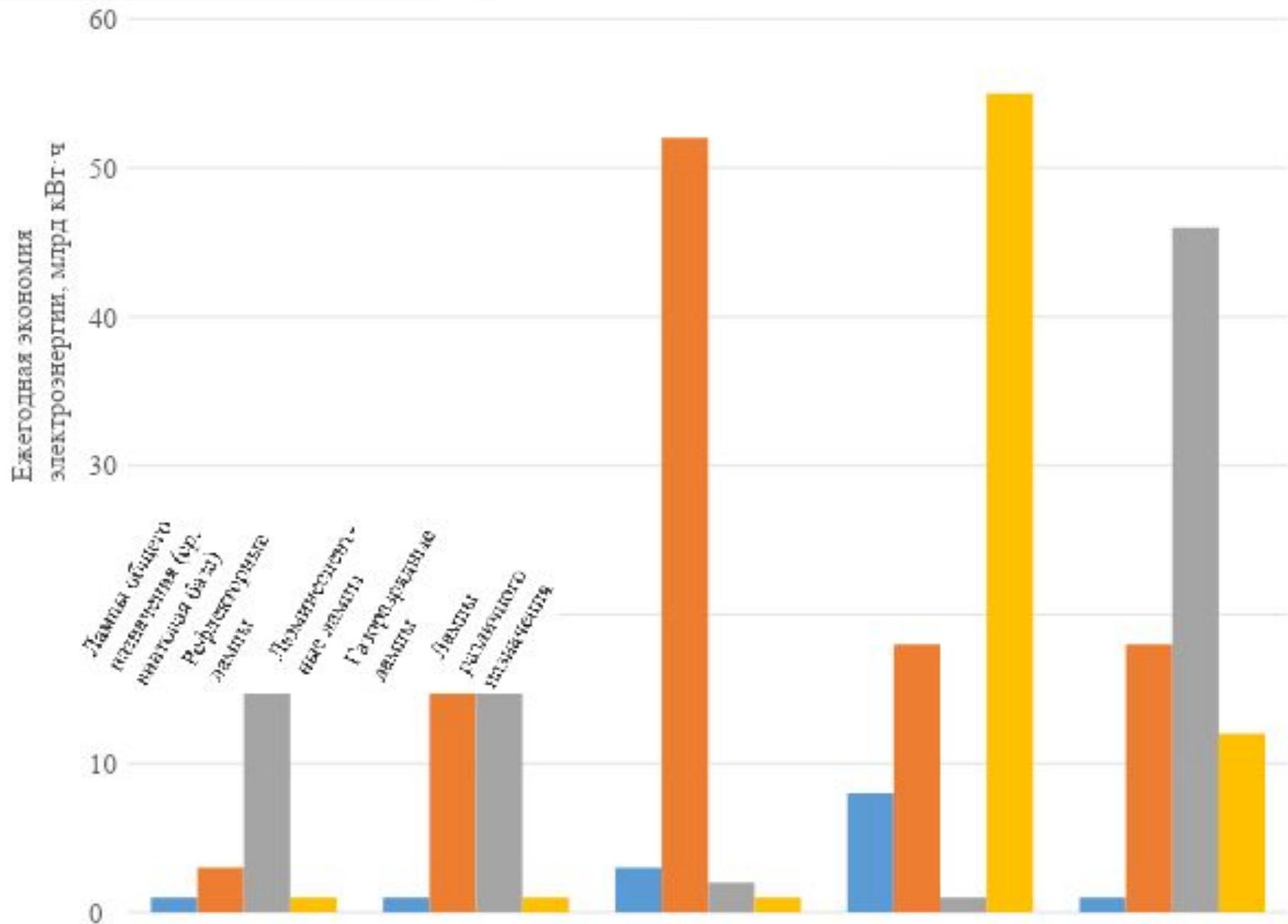
3.

Методика учета остаточного ресурса светодиодных светотехнических устройств работы, отличающаяся непрерывным контролем электрических и тепловых параметров светодиодов в процессе эксплуатации и использованием зависимости срока службы светодиодов от этих параметров, что позволяет своевременно выявлять износ светодиодов и предотвращать ущерб от несвоевременного выхода из строя светодиодных осветительных устройств.

4.

Методические основы создания высокоэффективных светодиодных устройств с удаленными преобразователями с использованием впервые установленной закономерности влияния на квантовый выход люминесценции новосинтезированных люминофорных покрытий, полученных с применением наноструктурированного порошка иттрий-алюминиевого граната, легированного церием при возбуждении на длине волны $\lambda=440...460$ нм, от размера и количества частиц диффузно-рассеивающей компоненты: с увеличением размеров частиц от 0,15 до 0,4 мкм и уменьшением количества рассеивающих частиц (массы) кварца в составе покрытия от 60 до 20% - квантовый выход люминесценции возрастает на 10-15 %.

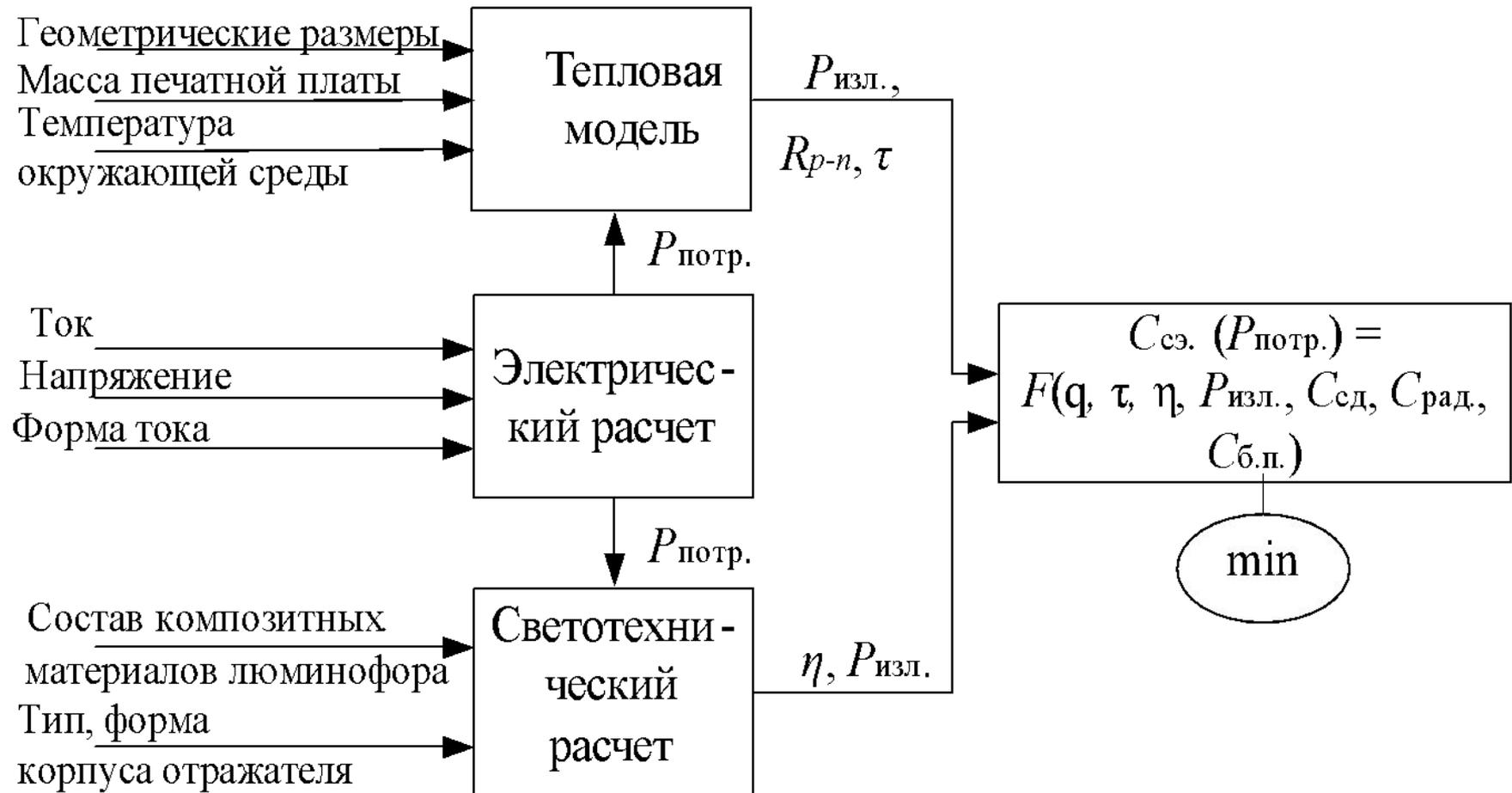
Прогнозируемая экономия электроэнергии в 2030 году по типам источников света и потребителям



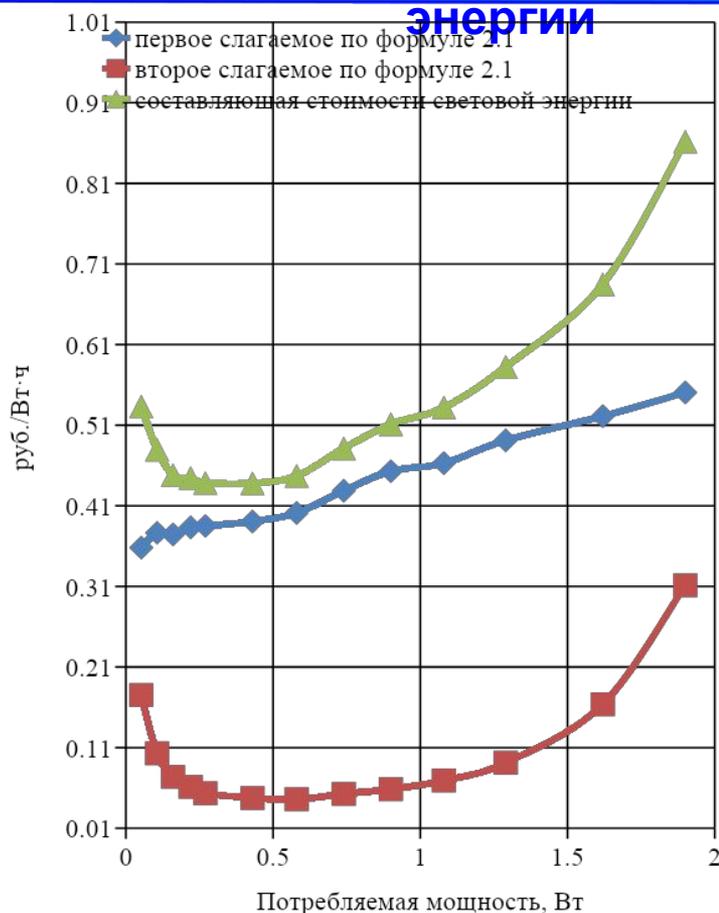
Первое положение,
выносимое на защиту:

Методика определения оптимального режима работы светодиодов светотехнических устройств по уточненному критерию минимума стоимости световой энергии

Схема расчета уточненного критерия оценки составляющей стоимости световой энергии светодиодного устройства



Первое положение, выносимое на защиту: Методика определения оптимального режима работы светодиодов светотехнических устройств по уточненному критерию минимума стоимости световой энергии



Зависимости составляющих стоимости световой энергии от режима работа макета светодиодного устройства с холодн-белыми светодиодами ARPL-1W White 6000

$$C_{сэ} = \frac{q}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n (C_{CDi}) + C_{рад} + \text{вт.ист.т.}}{n}$$

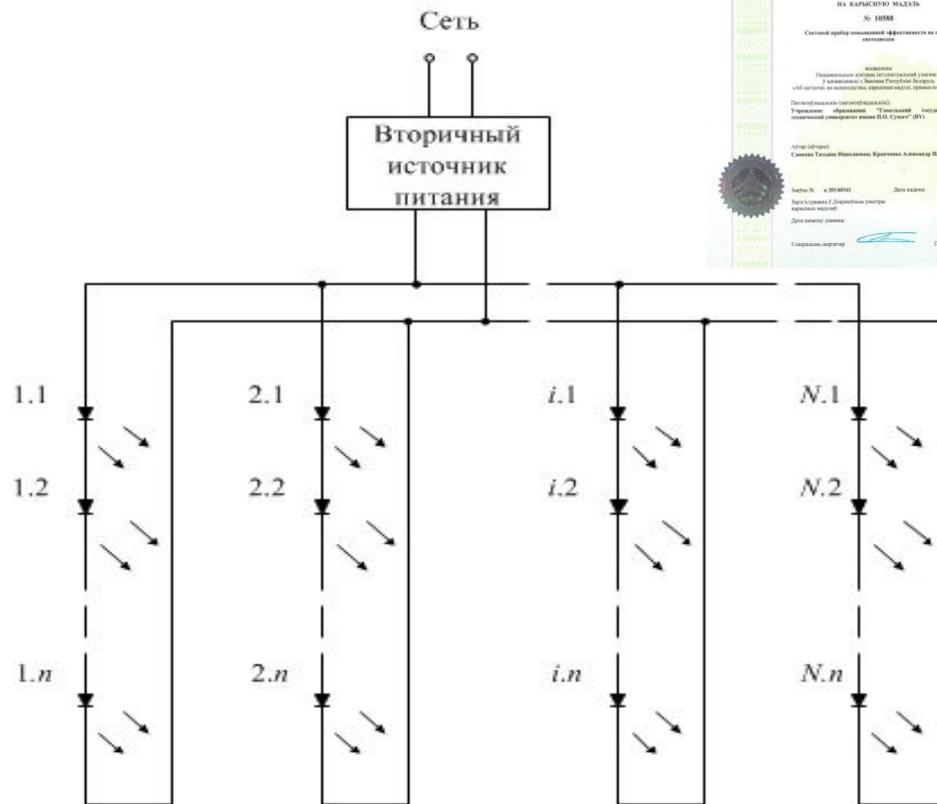
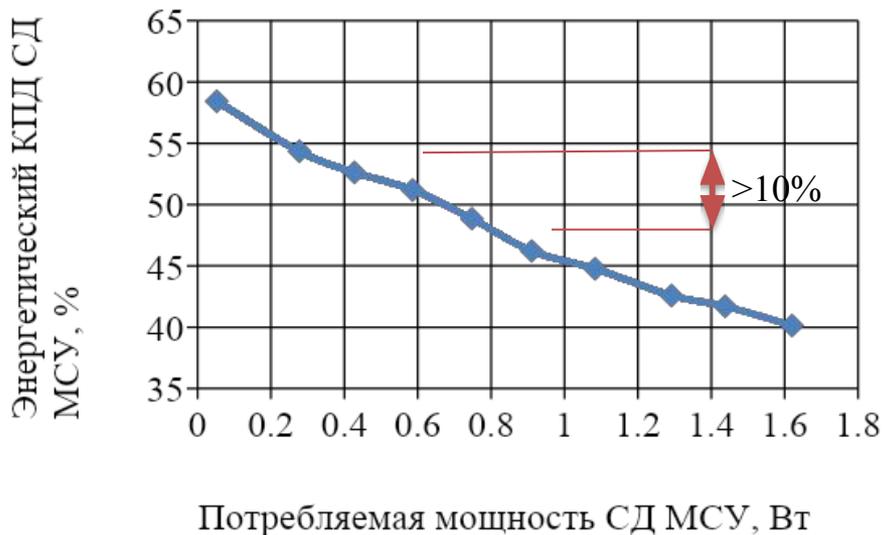
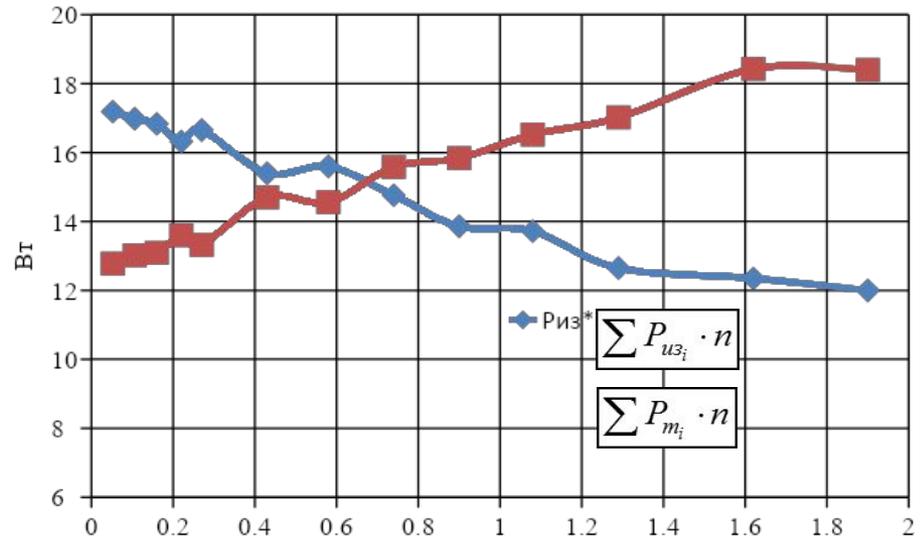
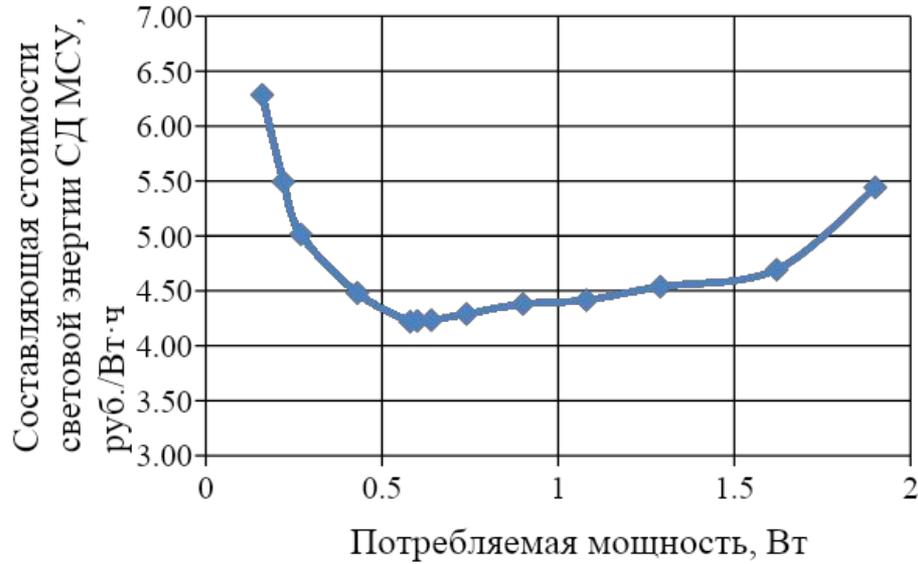


Схема рассчитанного МСУ на основе СД ARPL-1WWhite 6000

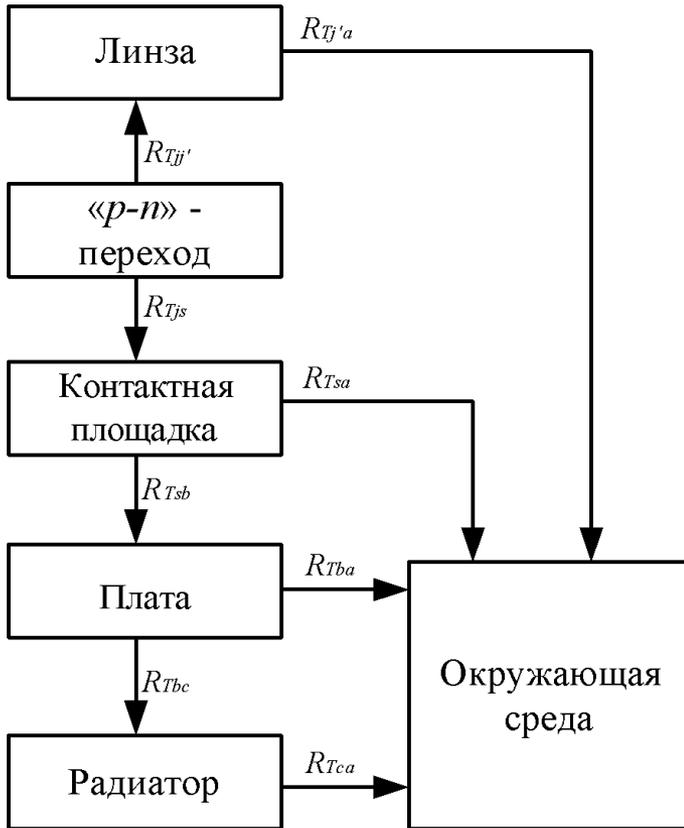
Первое положение, выносимое на защиту **Методика определения оптимального режима работы светодиодов светотехнических устройств по уточненному критерию минимума стоимости световой энергии**



Зависимости излучаемой и тепловой мощности от режима работы макета светодиодного устройства с холодно-белыми светодиодами ARPL-1W WHITE 6000

Второе положение,
выносимое на
защиту:

Метод определения рассеиваемой мощности холодно-белыми светодиодами



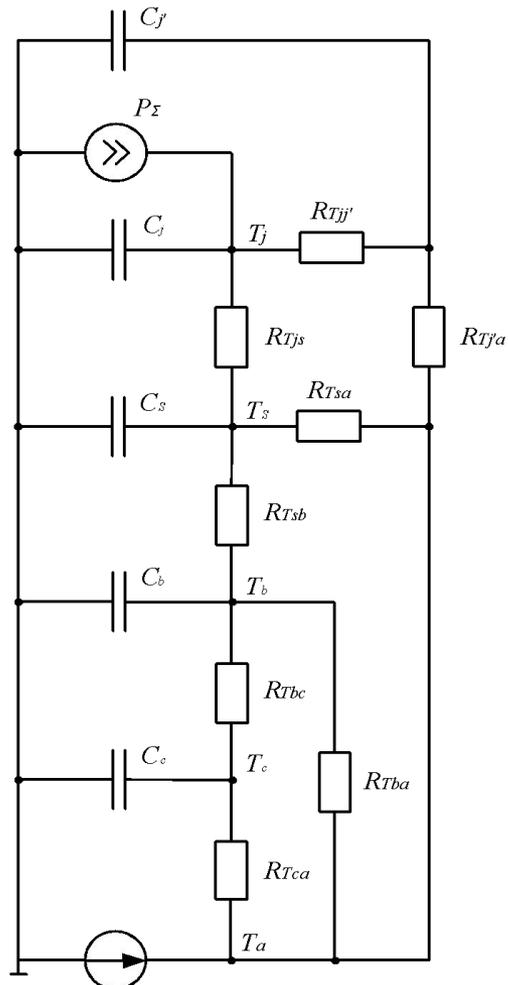
$$\left\{ \begin{array}{l} C_j \frac{dT_j}{dt} + \frac{T_j - T_s}{R_{Tjs}} + \frac{T_j - T_{j^I}}{R_{Tjj^I} + R_{Tj^Ia}} = P_{\Sigma} \\ C_s \frac{dT_s}{dt} + \frac{T_j - T_s}{R_{Tjs}} + \frac{T_s - T_a}{R_{Tsa}} + \frac{T_s - T_b}{R_{Tsb}} = 0 \\ C_b \frac{dT_b}{dt} + \frac{T_s - T_b}{R_{Tsb}} + \frac{T_b - T_c}{R_{Tbc}} + \frac{T_b - T_a}{R_{Tba}} = 0 \\ C_c \frac{dT_c}{dt} + \frac{T_b - T_c}{R_{Tbc}} + \frac{T_c - T_a}{R_{Tca}} = 0; \\ C_{j^I} \frac{dT_{j^I}}{dt} + \frac{T_j - T_{j^I}}{R_{Tjj^I}} + \frac{T_{j^I} - T_a}{R_{Tj^Ia}} = 0, \end{array} \right.$$

$$T_j = P_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma} + T_a.$$

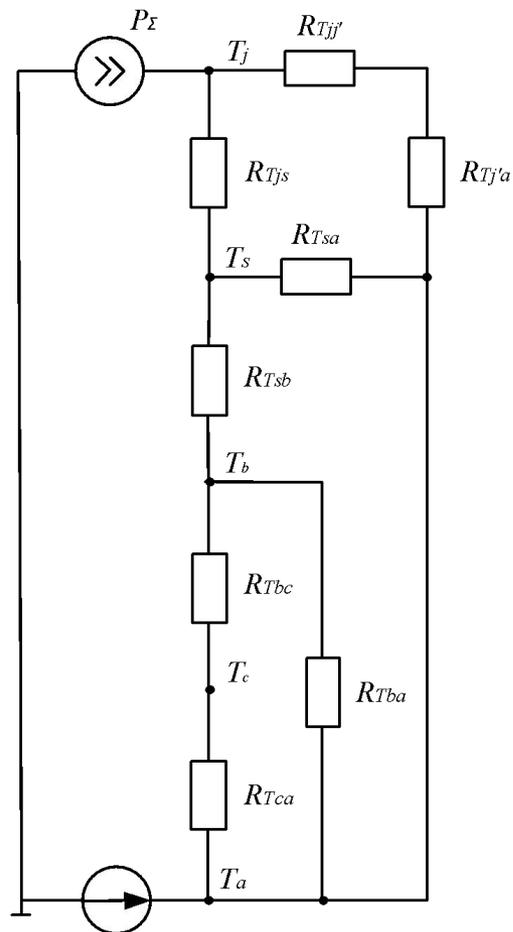
**Структурная схема тепловых процессов
светодиодного устройства**

Второе положение,
выносимое на защиту:

Метод определения рассеиваемой мощности холодно-белыми светодиодами



(а)



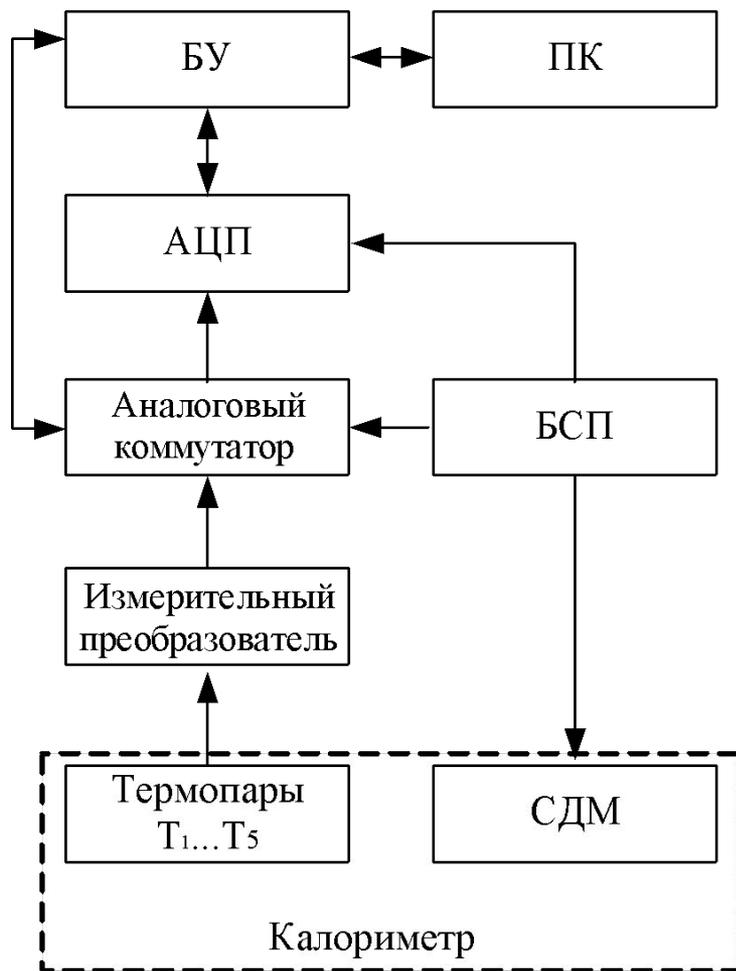
(б)

Тепловая схема замещения светодиодного устройства: схема для нестационарных тепловых режимов (а); схема для стационарных тепловых режимов (б).

Второе положение,
выносимое на защиту:

Метод определения рассеиваемой мощности
холодно-белыми светодиодами

Блок - схема экспериментальной установки для измерения тепловых характеристик СД и СДМ



Второе положение,
выносимое на
защиту

Метод определения рассеиваемой мощности холодно-белыми светодиодами

Основные технико-экономические показатели сравниваемых установок

Показатели	Значение показателей	
	Проектируемая экспериментальная установка	Существующий спектрометрический комплекс с интегрирующей сферой
Технические и эксплуатационные показатели		
Установленная мощность, кВт	0,0085	0,85
Расчетная мощность, кВт	0,0255	0,255
Экономические показатели		
Стоимость, руб.	907,079	$10054 \cdot 2,6242 = 26383,7$
Годовые эксплуатационные расходы, всего	1206,12 (в 2,3 раза дешевле)	2796,27
в том числе:		
– расходы на электроэнергию	1,22	12,2
– расходы на оплату обслуживающего персонала	661,346	661,346
– амортизационные отчисления	0,18	5,27
– расходы на текущий ремонт и техническое обслуживание	27,8	1467,45
– расходы на материалы	17,576	17,576
- калибровочные измерения	498	650
Экономический эффект, руб.	$2796,27 - 1206,12 = 1590,15$	

Третье положение, **Методика учета остаточного ресурса светодиодных** **выносимое на защиту: светотехнических устройств**

$$f_i = \frac{E(t)}{E_{\text{норм}}}$$

коэффициент оптического и теплового износа

$$E_{\text{выпр } i} = \frac{\Delta t}{f_i}$$

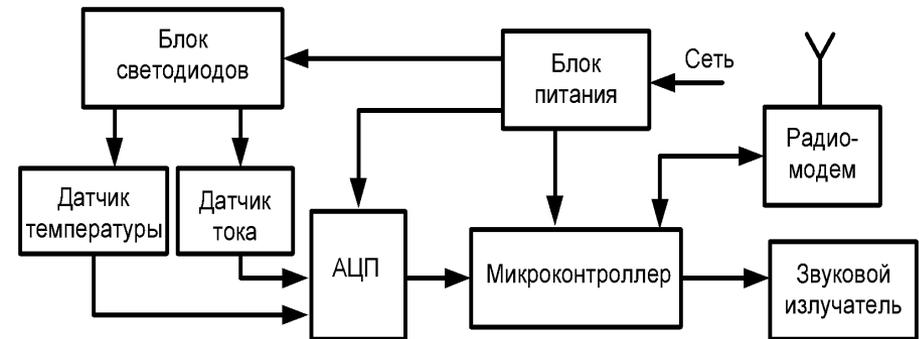
время выработки светодиодной осветительной установки
за период дискретизации Δt

$$E_{\text{ост}} = E_{\text{норм}} - \sum_{i=1}^n E_{\text{выпр } i} = E_{\text{норм}} - \frac{\Delta t \cdot E_{\text{норм}}}{A} \cdot \sum_{i=1}^n e^{B \cdot T_i}$$

остаточный ресурс светодиодной осветительной
установки

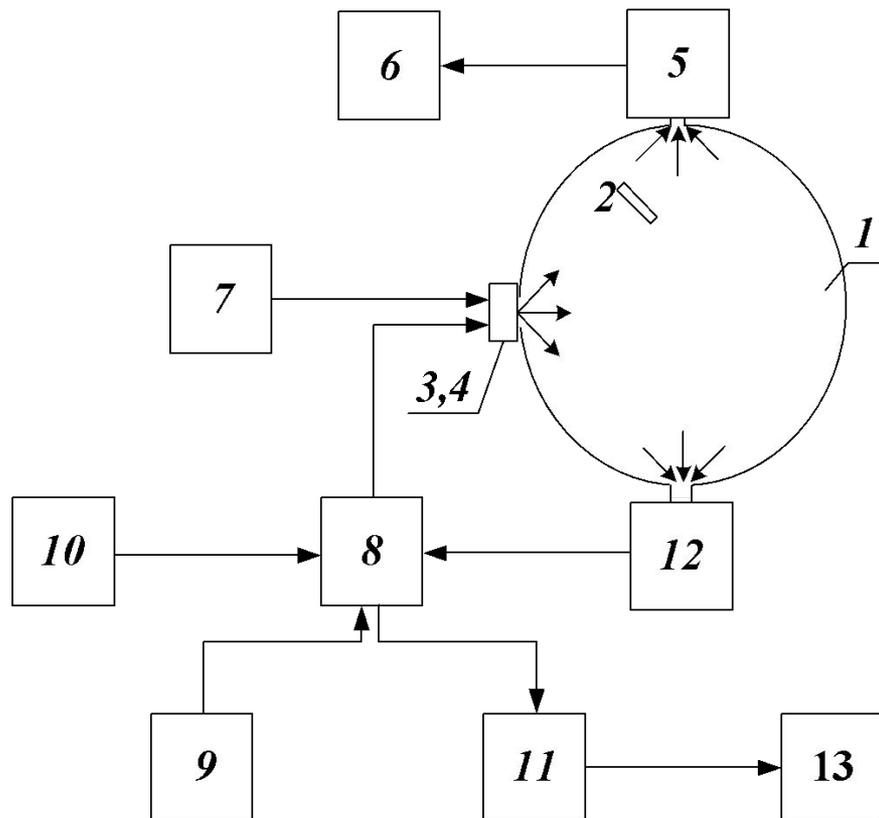
Результаты расчета остаточного ресурса светодиодной осветительной установки

	Остаточный ресурс, ч	
2000	50000	9926,5
5000	46486,53	-
10000	42973,06	-
15000	39459,59	-
20000	35946,12	-
25000	32432,65	-
30000	28919,18	-
35000	25405,71	-
40000	21892,25	-
45000	18378,78	-
50000	14865,31	-



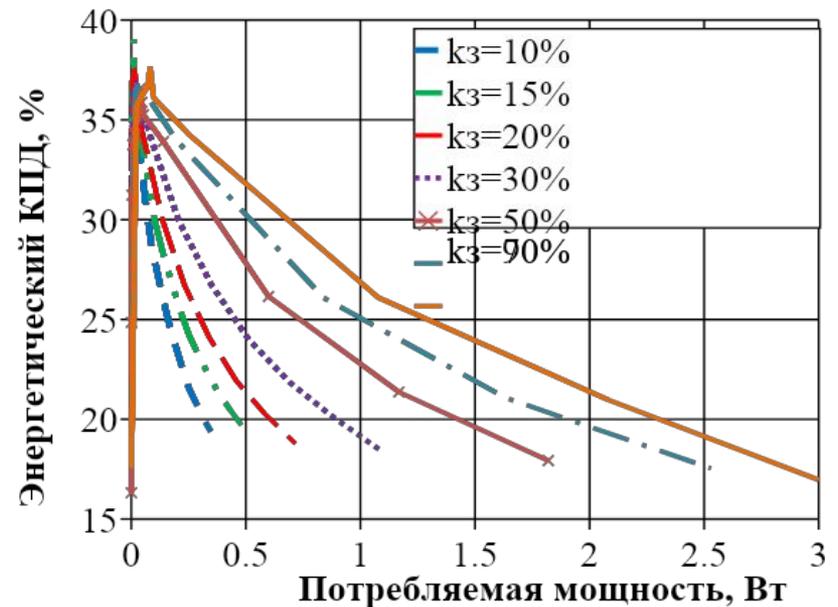
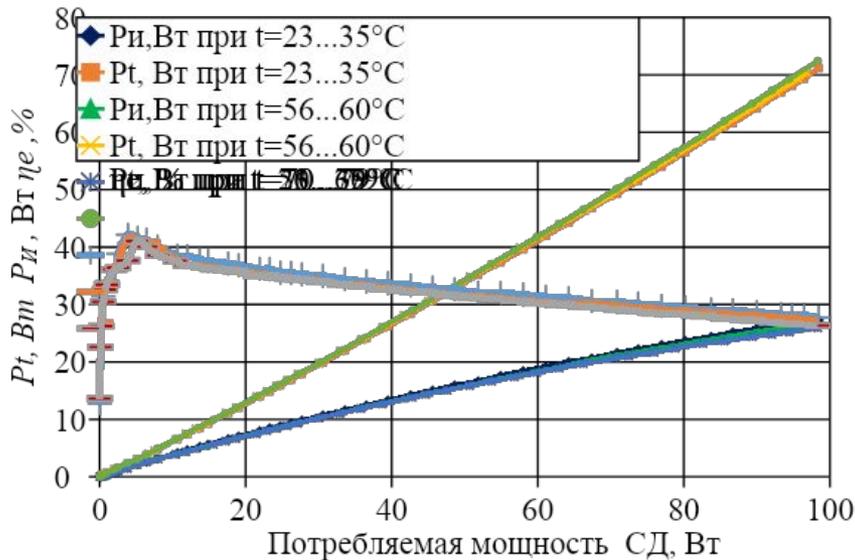
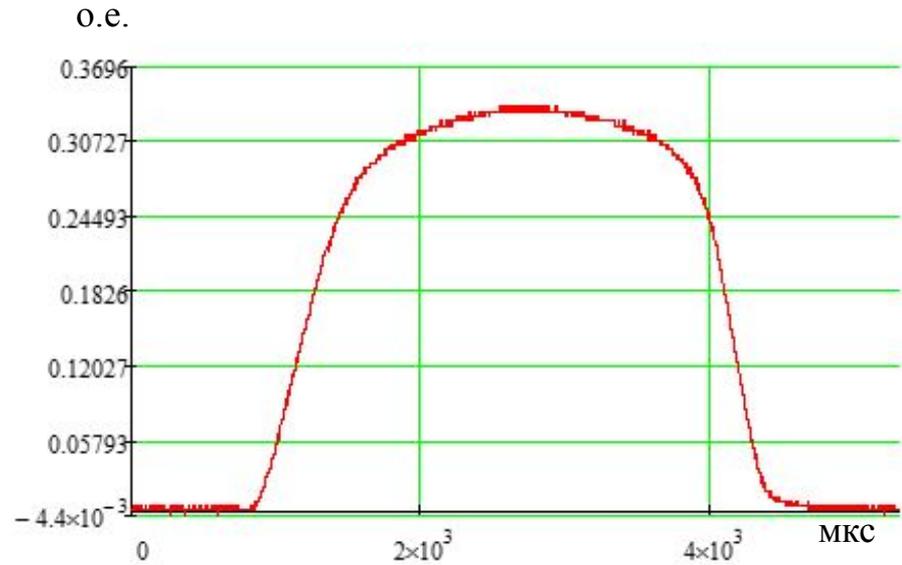
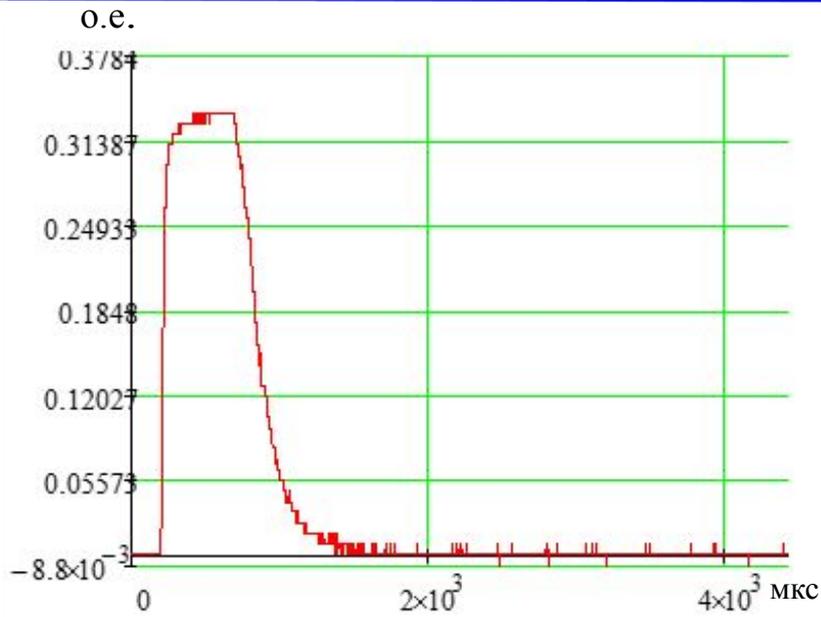
Структурная схема СДС с контролем остаточного ресурса

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНЫХ ХОЛОДНО-БЕЛЫХ СД И СДМ



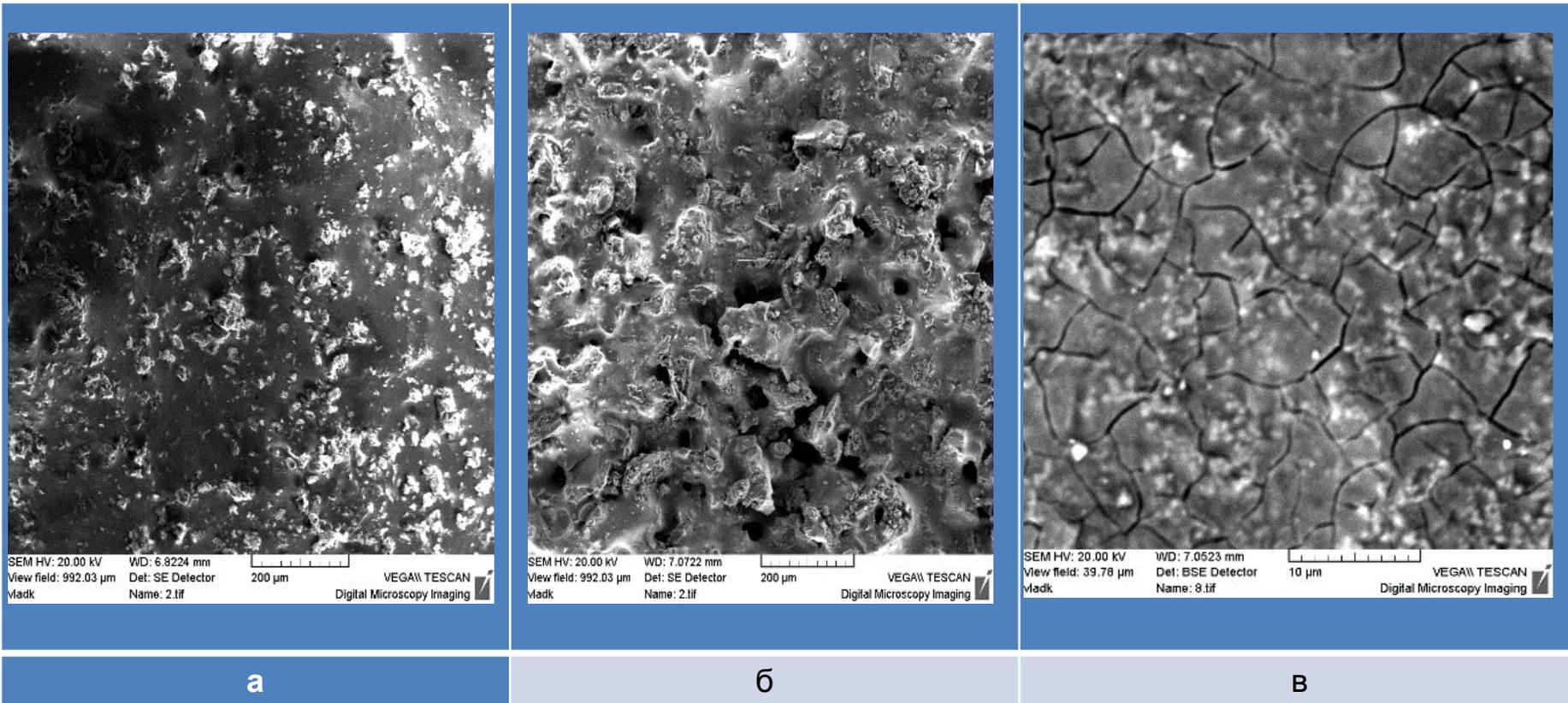
1– интегрирующая сфера; 2 – экран; 3 – СД (СДМ); 4 – эталонный СД с радиатором; 5 – фотометрическая головка люксметра «ТКА-Люкс; 6 – блок обработки сигналов люксметра «ТКА-Люкс; 7 – блок стабилизации заданного температурного режима СД; 8 – коммутационное устройство с усилителем мощности; 9 – источник постоянного тока; 10 – генератор Rigol DG 4062; 11 – осциллограф Rigol DS 2072; 12 – фотодиод ФД-7К; 13 – персональный компьютер (ПК)

Осциллограммы светового сигнала макета светодиодного устройства при импульсном токе прямоугольной и треугольной форме сигнала возбуждения



Методические основы создания высокоэффективных светодиодных устройств с удаленными преобразователями

Четвертое положение, выносимое на защиту:

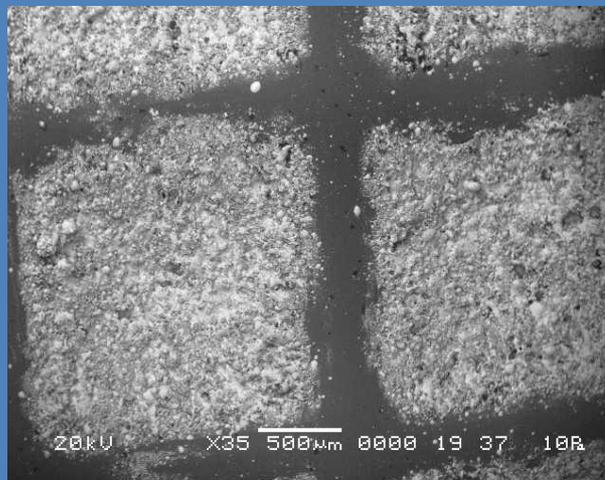
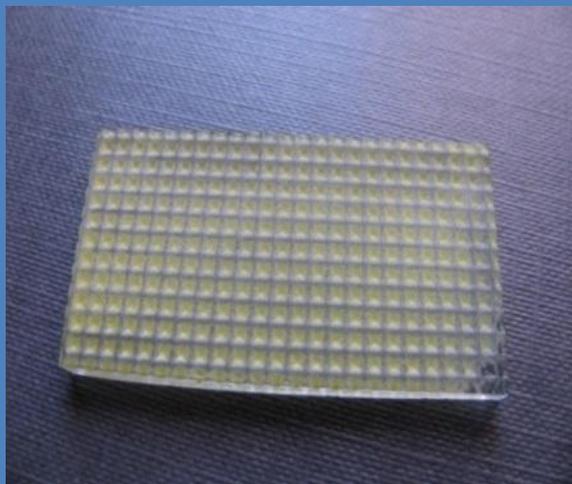


РЭМ- изображение люминофорного покрытия: покрытия, содержащие кварцевый порошок со средним размером частиц 20 мкм (а) и 40 мкм (б); покрытие без добавления кварцевого порошка (в).

Методические основы создания высокоэффективных светодиодных устройств с удаленными преобразователями

Четвертое
положение,
выносимое на

за



светопреобразователь

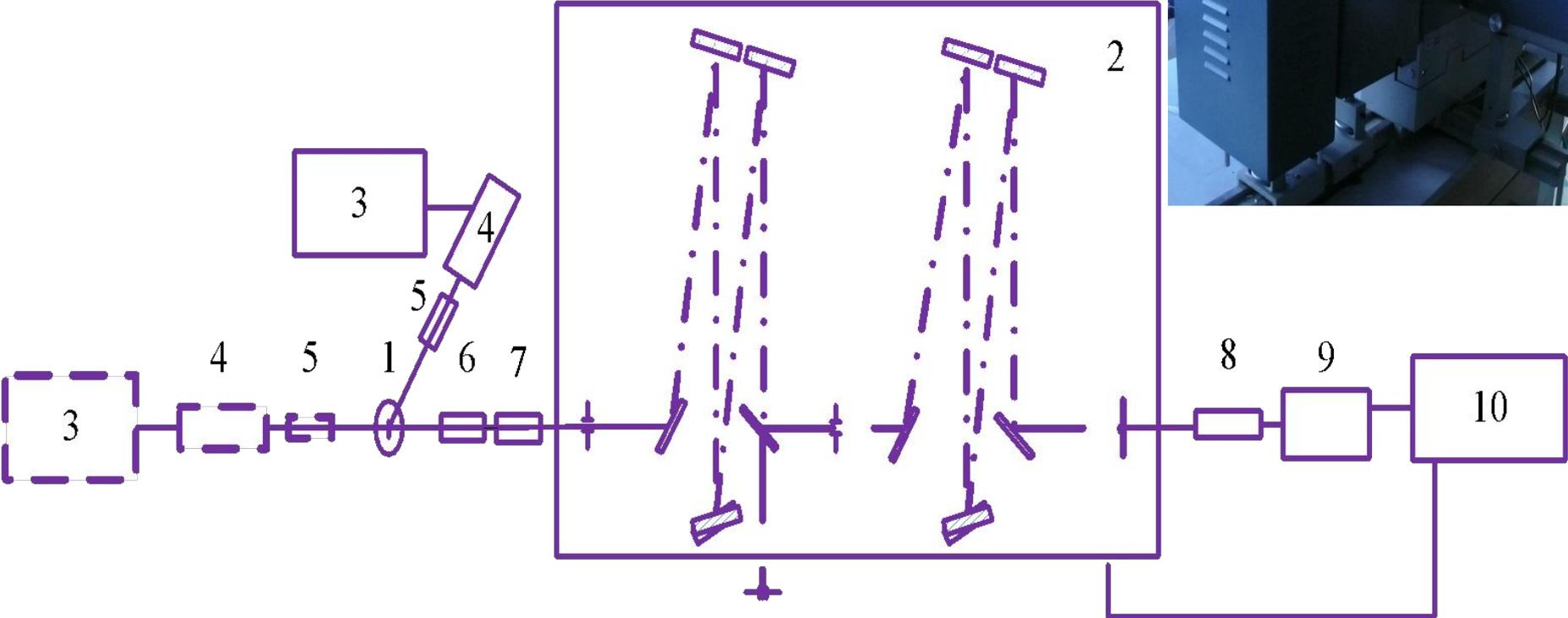
РЭМ- изображение
люминофорного покрытия

Макет светодиодного
светильника с
полукруглым
фотолюминесцентным
преобразователем на
стеклянной подложке

Методические основы создания высокоэффективных светодиодных устройств с удаленными преобразователями

Четвертое положение, выносимое на защиту:

Блок - схема экспериментальной установки для измерения спектров люминесценции

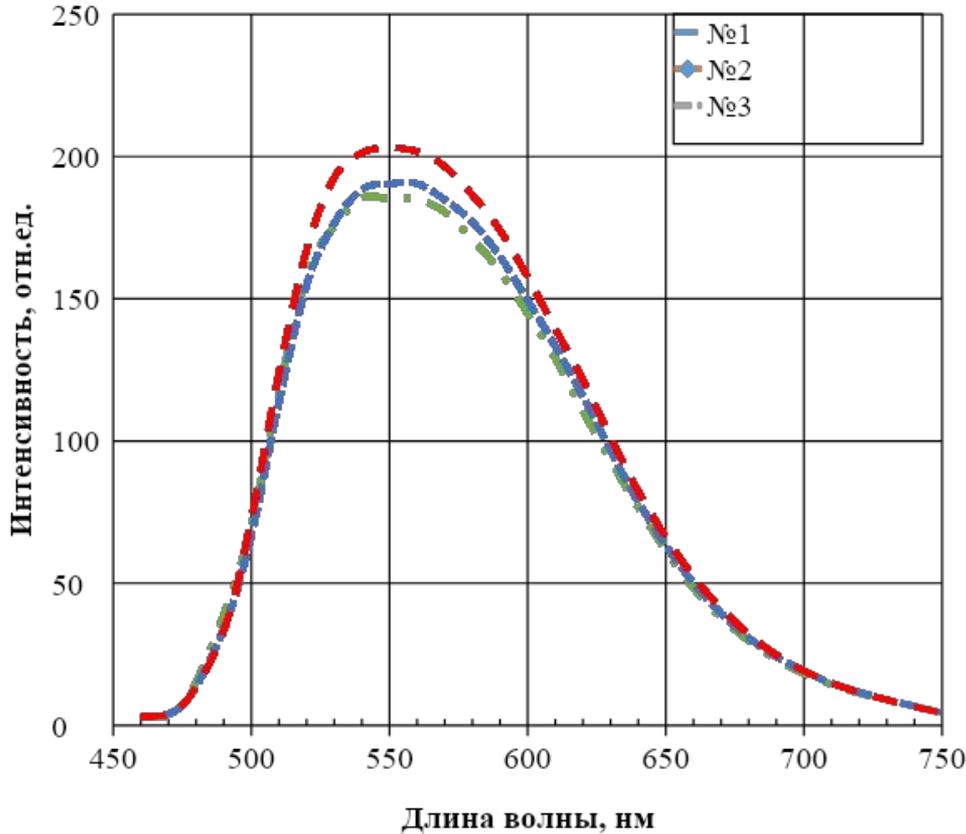


1 – образец; 2 – монохроматор МДР-6; 3 – блок питания источника света; 4 – ИС (синий СД LED-003W-07C-020-030LM-EL-P); 5-6 – светофильтры; 7 – фокусирующая система; 8 – фотоумножитель ФЭУ-100; 9 – усилитель постоянного тока; 10 – микроконтроллер Arduino Uno R3 и персональный компьютер.

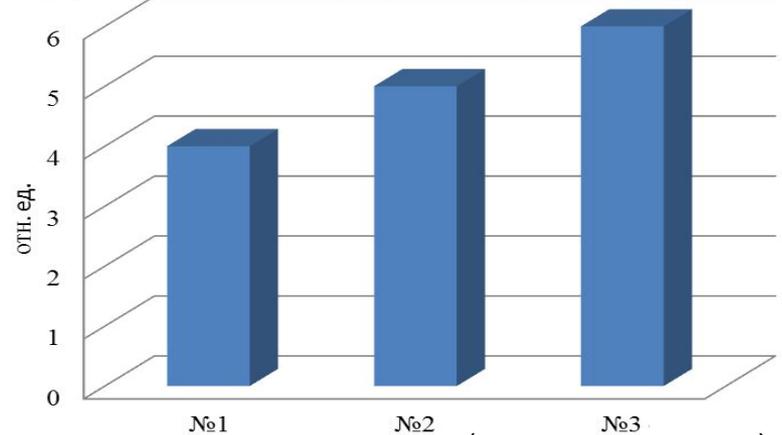
Методические основы создания высокоэффективных светодиодных устройств с удаленными преобразователями

Четвертое положение, выносимое на защиту:

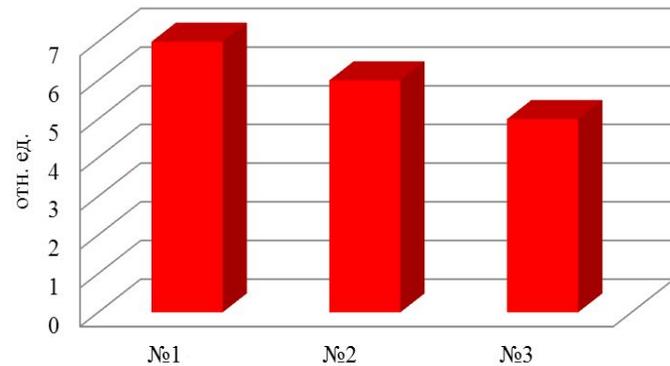
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ЛЮМИНОФОРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЛЕГКОПЛАВКОГО СТЕКЛА



Спектры люминесценции образцов в зависимости от размеров частиц диффузно-рассеивающего компонента – кварцевого порошка: 0,15 мм (№1), 0,25 мм (№2), 0,4 мм (№3).



Зависимость квантового выхода (энергии излучения) люминесценции от размера частиц диффузно-рассеивающего компонента – кварцевого порошка: 0,15 мм (№1), 0,25 мм (№2), 0,4 мм (№3)



Зависимость квантового выхода (энергии излучения) люминесценции от количества диффузно-рассеивающего компонента – порошка кварцевого стекла: 0,2 г (№1), 0,3 г (№2), 0,6 г (№3)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана новая методика определения оптимального режима работы светодиодов светотехнических устройств по уточненному критерию стоимости световой энергии. Разработанная методика позволяет увеличивать срок службы СД за счёт улучшения теплового режима во время эксплуатации и повысить КПД светодиодов светотехнических устройств. Определение оптимального режима работы светодиодов светотехнических устройств предполагает проектирование и эксплуатацию готовых осветительных установок с учетом экономии электроэнергии при минимальных инвестициях и позволяет оценивать создаваемые светотехнические устройства с учётом перспективы их улучшения.

2. Предложен новый метод и разработаны конструкции жидкостного и сухого калориметров для определения рассеиваемой мощности холодно-белыми СД. Предложенный метод и разработанные калориметры позволяют определять температуру «р-п» перехода, тепловое сопротивление, энергию светового излучения, энергетический выход и удешевить измерения. Полученные методом измерительного и вычислительного эксперимента данные могут применяться для контроля качества светодиодов, а также при проектировании светодиодных осветительных установок для определения оптимального режима работы.

3. Предложена новая методика учета остаточного ресурса светодиодных светотехнических устройств работы с непрерывным контролем электрических и тепловых параметров светодиодов в процессе эксплуатации и использованием зависимости срока службы светодиодов от этих параметров. Полученные данные на основе созданных алгоритмов позволяют рассчитывать потребляемую мощность светильника; контролировать физический износ светодиодов по сравнению значений их температуры и потребляемой мощности; фиксировать время нахождения во включенном состоянии и количество коммутаций; предотвращать ущерб от несвоевременного выхода из строя светодиодных осветительных устройств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

4. Разработана методика определения энергетических и оптических характеристик светодиодов при возбуждении постоянным и импульсным током, отличающаяся возможностью оценивать эффективность светодиодов при различных видах и параметрах возбуждения и стабильном тепловом режиме их работы, позволяющая определять рассеиваемую и излучаемую мощности излучения для определения оптимального режима работы светодиодных светотехнических устройств при их проектировании.

5. Разработаны методические основы создания высокоэффективных светодиодных устройств с удаленными преобразователями с использованием впервые установленной закономерности влияния на квантовый выход люминесценции новосинтезированных люминофорных покрытий, полученных с использованием наноструктурированного порошка иттрий-алюминиевого граната, легированного церием. Экспериментально подтверждено, что квантовый выход люминесценции возрастает с увеличением размеров частиц и уменьшением количества рассеивающих частиц кварца в составе покрытия. Что позволит создавать стеклокерамические образцы люминесцентных покрытий для использования в качестве эффективных светопреобразователей, перспективных для создания новых источников белого света и светотехнических устройств с улучшенными характеристиками.

Благодарю за

внимание !

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертации соответствует подразделу 1.6 (энергосбережение, энергоэффективные технологии) перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011-2015 и 2016-2020 годы, утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 № 585 и от 12.03.15 №190.

Диссертационная работа выполнялась в ГГТУ имени П.О. Сухого в соответствии с темой: «Разработка макетов, моделирование светодиодных осветительных приборов на основе удаленных преобразователей и изучение их характеристик» ГПНИ «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный потенциал», подпрограмма «Химические технологии, реагенты и материалы», 2014-2015гг, шифр ГР 20141924 от 20.08.2014.

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты работы опубликованы в 36 печатных работах, включая: 12 статей в научных журналах согласно перечню научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, 19 докладов в трудах конференций, 1 тезисе доклада, 1 патенте на изобретение и 4 патентах на полезную модель Республики Беларусь.