

– разбиение диапазона значений относительных изменений огибающей на  $N$  интервалов;

– подсчет статистических частот значений относительных изменений крутизны огибающей;

– вычисление интегрального абсолютного отклонения для распределения крутизны огибающей на интервалах нарастания и спада огибающей сигнала.

Крутизна огибающей на выбранных интервалах вычисляется как отношение интервала квантования к интервалу дискретизации:

$$S_a = (A_i + k - A_i) / k.$$

Относительное изменение крутизны огибающей вычисляется как отношение:

$$dS = (S_a - S_{at}) / S_a,$$

где  $S_{at}$  - крутизна сигнала, прошедшего обработку (крутизны соответствуют одному и тому же интервалу).

Влияние параметров формы аудиосигнала на субъективную оценку качества оказываются весьма значительными при проведении контроля качества и связаны с ясностью звучания.

Ясность звучания определяется по разборчивости речи, разделению голосов, детальности, передаче характера звукоизвлечения, передаче интонации. В качестве тестовых сигналов используются звучания симфонического оркестра, рояля, скрипки, медных духовых инструментов, певческих голосов, воспринимаемых с хорошо подготовленного в акустическом отношении пространства.

Исследованиями установлено, что ясность субъективно вызывает ощущение легкости прослушивания, когда все воспринимаемые человеком элементы музыкального сигнала не маскиру-

ются полностью. Это во многом определяется сохранением сигнала реверберации. Реверберация маскирует те звуковые детали, которые слушателем воспринимаются как избыточные, и выделяет наиболее важные элементы звучания[2].

В рамках исследуемого вопроса – контроля качества аудиосигналов, субъективный параметр – ясность, объективно определяется изменением параметров крутизны спада и крутизны нарастания на участках нестационарности сигнала.

Эстетические эталоны акустической обстановки определяются изменением огибающей сигнала в ходе передачи, что приводит к искажению спадов звуковых объектов, определяемых характером спадов реверберации в помещении, а соответственно может быть оценено статистическими характеристиками параметров аудиосигналов на интервалах нестационарности – с отрицательной крутизной изменения огибающей сигнала[3].

1. Бобрикович А.А. Гусев О.К. Воробей Р.И. Метод комплексного статистического контроля качества аудиоаппаратуры / Матер. 8-й междунар. науч.-технич. конфер. молод. учен. и студентов: Новые направления развития приборостроения. – Минск. – 2015. – С. 11.
2. Попов О. Б. Рихтер С. Г. Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания. – М.: Горячая линия-Телеком. – 2011. – 283 с.
3. Architectural acoustic: Databook / Elsevier Academic Press. – Marshall Long. – 2006. – 347 с.
4. Ковалгин Ю. А. Вологдин Э. И. «Аудиотехника» – М.: Горячая линия-Телеком. – 2013. – 698 с.

УДК 621.384.3: 616.073.65

## ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ ТЕРМОГРАФАМИ С РАЗНЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ ДИАПАЗОНОМ

Бумай Ю.А.<sup>1</sup>, Куклицкая А.Г.<sup>1</sup>, Трофимов Ю.В.<sup>2</sup>, Цвирко В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»  
Минск, Республика Беларусь

Экспериментальные исследования тепловых режимов светоизлучающих диодов (СИД) проведены в рамках выполнения научно-исследовательской работы, направленной на разработку методик ускоренной деградации СИД. Разработка методик ускоренной деградации обусловлена необходимостью оценки качества СИД, включаемых в состав светодиодных излучателей,

чтобы гарантировать долговременную эксплуатацию последних с сохранением заданных спектральных и светотехнических характеристик [1].

Предложена методика ускоренной деградации СИД за счет перегрева излучающего кристалла из-за наличия на поверхности линзы слоя мелкодисперсных частиц. Проведены модельные эксперименты, в которых на поверхность линзы

СИД наносился слой сажи, полученной при сжигании камфары и исследовалась зависимость поверхностного разогрева от величины питающего тока для СИД с монохроматическим излучением - *HMHP-E1LG Helio green* (зеленого свечения) и СИД со сложным спектральным излучением - *MX6 Cree cool white* (белого свечения). Для сравнения исследовались тепловые режимы тех же СИД с чистой излучающей поверхностью [1,2].

Регистрация распределения температуры по излучающей поверхности СИД осуществлялась термографами с различной спектральной чувствительностью – ИРТИС-2000 (РФ) и *ThermaCAM A325* фирмы *FLIR-systems* (США). Тепловизор ИРТИС-2000 чувствителен к инфракрасному излучению в диапазоне длин волн 3-5 мкм, спектральный диапазон тепловизора *ThermaCAM A325* - 7,5-13 мкм. Кроме различной спектральной чувствительности, указанные термографы характеризуются практически совпадающими температурной чувствительностью, диапазоном измеряемых температур и погрешностью измерения.

Методика проведения исследований заключалась в регистрации серии термограмм излучающей поверхности СИД без нанесенного слоя мелкодисперсных частиц и при наличии слоя камфарной сажи в условиях возрастания тока питания от 10 мА до 500 мА термографами с различной спектральной чувствительностью.

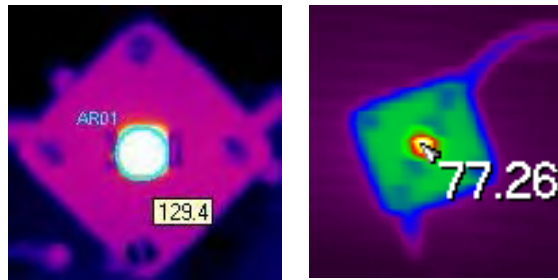
Регистрация термограмм осуществлялась для одних и тех же СИД при одинаковых значениях тока питания термографами с различной спектральной чувствительностью поочередно. Серии включали термограммы излучающей поверхности СИД при значениях тока питания 10 мА, 50 мА, 100 мА, 250 мА, 500 мА.

На рисунке 1 представлены термограммы СИД *MX6 Cree cool white*, на излучающую поверхность которого нанесен слой камфарной сажи. Термограммы зарегистрированы при значении тока питания 250 мА термографами *ThermaCAM A325 FLIR-systems* и ИРТИС-2000. На приведенных термограммах указана температура излучающей поверхности СИД в градусах Цельсия.

Анализ термограмм, полученных при использовании термографов с различными спектральными диапазонами чувствительности приемников излучения, показал, что наблюдаются существенные расхождения в значениях измеренной ими температуры для СИД со сложным спектральным составом излучения и наличием слоя камфарной сажи на излучающей поверхности.

На рисунке 2 приведены зависимости поверхностной температуры от тока питания для

СИД

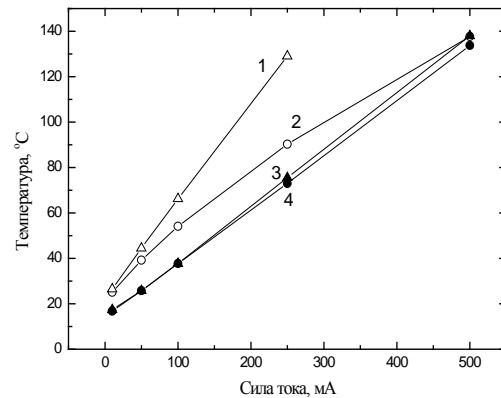


*ThermaCAM A325*

ИРТИС-2000

Рисунок 1 – Термограммы СИД *MX6 Cree cool white*, зарегистрированные термографами *ThermaCAM A325 FLIR-systems* и ИРТИС-2000 при токе питания 250 мА

*MX6 Cree cool white* и *HMHP-E1LG Helio green* с нанесенным на излучающую поверхность слоем камфарной сажи, полученные с использованием термографов *ThermaCAM A325* и ИРТИС-2000.



1, 2 – *Thermocam A325*; 3, 4 – ИРТИС-2000

Рисунок 2 – Зависимости температуры поверхности от тока для СИД белого (1, 3) и зеленого (2, 4) свечения, покрытых сажей, полученные с использованием термографов *Thermocam A325* и ИРТИС-2000

Следует отметить, что полученные термограммы со спектральным диапазоном 3-5 мкм термограммы дают практически совпадающие зависимости разогрева от тока для обоих типов СИД, тогда как полученные термографом со спектральным диапазоном 7,5-13 мкм термограммы свидетельствуют о гораздо большем разогреве СИД со сложным спектральным составом. Зависимости разогрева от тока для монохроматического СИД зеленого свечения практически совпадают для обоих термографов. То есть, в спектральной области 7,5-13 мкм эмиссия СИД белого свечения, покрытого слоем камфарной сажи, соответствует гораздо более высокой температуре, чем эмиссия в области 3-5 мкм. Это

может свидетельствовать о регистрации в более длинноволновой области излучения, избыточного над тепловым. Расхождение результатов измерения температуры может объясняться, в частности, наличием флуоресценции продуктов горения камфары.

Неоднократные повторные исследования тепловых режимов СИД сложного спектрального состава с нанесенной на излучающую поверхность камфарной сажей, в том числе и в составе светодиодных осветителей, подтвердили наличие существенно превышающих нормированную погрешность различий в значениях температуры, измеренной термографами с разным спектральным диапазоном. Из термограмм излучающей поверхности светодиодного модуля на основе СИД белого свечения с нанесенной на поверхность камфарной сажей, видно, что разность температур, зарегистрированных термографами *Thermocam A325* и ИРТИС-2000 достигает 20°C.

То обстоятельство, что измерения температуры одного и того же излучающего объекта термографами с разной спектральной чувствительностью может давать существенно различающиеся результаты, следует учитывать при проведении практических термографических обследований в условиях наличия производственной пыли и сажи. В этом случае предпочтительнее использовать термографы с более коротковолновым спектральным диапазоном, на показания которых спектральный состав излучения объекта оказывает меньшее влияние.

Таким образом, экспериментальные исследования тепловых режимов светодиодов со сложным спектральным составом излучения, на поверхность которых нанесен слой мелкодисперсных частиц, полученных путем сжигания кам-

фары, показали:

- результаты измерения температуры излучающей поверхности СИД, покрытой слоем мелкодисперсных частиц, термографами с различной спектральной чувствительностью могут существенно отличаться;
- разность измеренных температур значительно превышает пределы нормированной погрешности термографов и может быть обусловлена флуоресценцией продуктов сгорания сажи;
- измерения температуры светодиодных излучателей на основе СИД со сложным спектральным составом в условиях наличия производственных загрязнений на излучающей поверхности предпочтительно проводить термографами, спектральная чувствительность которых находится в коротковолновой области ИК-спектра.

1. Доманевский Д.С. Исследование особенностей ИК-эмиссии светодиодов с поверхностным слоем, имитирующем производственные загрязнения / Д.С. Доманевский, А.Г. Куклицкая Ю.А. Бумай [и др.] // *Приборостроение–2012: материалы 5 Междунар. науч.-техн. конф.*, Минск, 21–23 ноября 2012 г. – Минск: БНТУ. – 2012. – С. 271–272.
2. Бумай Ю.А. Исследование влияния поверхностного слоя мелкодисперсных частиц производственной пыли и сажи на спектры излучения и нагрев светодиодных осветителей / Ю.А. Бумай, Д.С. Доманевский, А.Г. Куклицкая [и др.] // *Приборостроение–2014: материалы 7 Междунар. науч.-техн. конф.*, Минск, 19–21 ноября 2014 г. – Минск: БНТУ. – 2014. – С.41–42.

УДК 620.179.14

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ПОЛЯ В ПРИБОРЕ ИМА-6

**Бурак В.А.**

*Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси  
Минск, Республика Беларусь*

Импульсный магнитный контроль основан на намагничивании изделий из ферромагнитных материалов, которое осуществляется одним или несколькими импульсами тока, формируемыми при разряде через соленоид или систему соленоидов батареи конденсаторов [1]. Формируемое при этом импульсное магнитное поле можно описать такими основными параметрами как амплитуда импульсов, их форма и длительность.

Амплитуда, форма и длительность формируе-

мых импульсов магнитного поля зависят от параметров разрядной цепи: активного сопротивления, индуктивности соленоида и емкости батареи накопительных конденсаторов. При намагничивании контролируемого изделия в нём возникают вихревые токи, что приводит к изменению сопротивления цепи. Также изменяется величина индуктивности соленоида за счет намагничивания детали. Эти два фактора могут оказать влияние на параметры формируемого импульса маг-