

УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора УлГТУ

Пинков А.П.



06 2016 г.

Печать организации

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет»  
*(полное официальное название организации в соответствии с уставом)*

Диссертация «Повышение точности двухканальных фотоэлектрических преобразователей для измерения параметров спектра оптических сигналов»  
*(название диссертации)*

выполнена на кафедре «Радиотехника»  
*(наименование учебного или научного структурного подразделения)*

В период подготовки диссертации аспирант Ульянов Александр Викторович  
*(фамилия, имя, отчество – при наличии( полностью))*

Работал в акционерном обществе «ЭР-Телеком Холдинг» филиал в г. Ульяновск  
*(полное официальное название организации в соответствии с уставом,*

в отделе головной станции и информационных технологий на должности руководителя отдела головной станции и информационных технологий  
*наименование учебного или научного структурного подразделения, должность)*

В 2009 г. окончил Ульяновский государственный технический университет по специальности Радиотехника  
*(наименование образовательного учреждения высшего профессионального образования)*  
*(наименование специальности)*

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2015г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением  
*(полное официальное название организации(ий) в соответствии с уставом)*

высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет»

Научный руководитель – Рогов Виктор Николаевич, декан радиотехнического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный  
*(фамилия, имя, отчество – при наличии, основное место работы, полное официальное название организации в соответствии с уставом, наименование структурного*

технический университет»

*подразделения, должность)*

По итогам обсуждения принято следующее заключение.



В различных областях науки, техники и технологий в качестве технологического воздействия и носителя информации используется узкополосное оптическое излучение. В большинстве таких технологических приложений необходимо обеспечивать контроль и управление такими параметрами этого излучения как центральная длина волны и ширина спектра.

Кроме того, параметры узкополосного оптического излучения содержат важную информацию о свойствах и параметрах источника излучения, исследуемого объекта и среды распространения оптического сигнала. Так, по изменению спектра излучения полупроводниковых лазеров и светодиодов (СИД) можно определить температуру нагрева кристалла, по параметрам спектра люминесценции биологических тканей – о наличии и концентрации определенных веществ, по измерению спектра в системах индикации и отображения информации о наличии дефектов в этих системах и т. д.

На практике наиболее актуальными и сложными являются задачи контроля параметров спектра оптического излучения в динамическом режиме при быстропротекающих переходных процессах. Такие задачи возникают в системах связи со спектральным уплотнением канала связи (WDM), при анализе параметров коротких импульсов оптического излучения, при кратковременном воздействии на источник оптического излучения внешних факторов и др.

Низкое быстродействие, большие габариты и высокая стоимость средств измерения, построенных на основе спектрального метода, существенно ограничивают возможность применения этих средств для контроля параметров оптического излучения в динамическом режиме.

В последние годы активно разрабатываются быстродействующие средства измерения параметров спектра оптических сигналов с применением двух и более фотоприемников с известными спектральными характеристиками. Согласно известным литературным данным эти средства разрабатываются и применяются для определения одного параметра – центральной длины волны излучения. Метрологические характеристики этих средств исследованы недостаточно. В частности, не исследовалось влияние отклонений реальных спектральных характеристик и шумов фотоэлектрических преобразователей на точность измерения параметров спектра. Таким образом, повышение точности и расширение функциональных возможностей быстродействующих средств измерения параметров оптического излучения с многоканальным фотоэлектрическим преобразованием, является актуальной задачей.

**В данном исследовании ставится и решается задача улучшения метрологических характеристик быстродействующих средств измерения ширины и центральной длины волны спектра оптического излучения в установившемся и динамическом режимах.**

**Целью** диссертационной работы является повышение точности и расширение функциональных возможностей быстродействующих средств измерения параметров спектра оптического излучения с двухканальным фотоэлектрическим преобразованием.

Для достижения поставленной цели **решены следующие задачи:**

1. Предложены и исследованы алгоритмы определения центральной длины волны и ширины спектра оптического излучения в едином измерительном цикле по сигналам двух фотоэлектрических преобразователей с различными формами спектральных характеристик.



2. Получены оценки погрешности измерения центральной длины волны и спектра оптического излучения двумя фотоэлектрическими преобразователями при аппроксимации спектра излучения и спектральных характеристик фотоприемников различными функциями.

3. Методами компьютерного моделирования исследовано влияние аддитивных и мультипликативных шумов фотоприемников на погрешность определения параметров спектра оптического излучения.

4. Разработана экспериментальная установка для измерения центральной длины волны и ширины спектра оптического излучения с двухканальным фотоэлектрическим преобразованием; исследованы ее метрологические характеристики и инструментальные погрешности.

5. На экспериментальной установке проведены измерения параметров спектра на нескольких выборках коммерческих СИД в различных режимах их работы. Проведено сравнение результатов измерений с результатами, полученными на стандартных спектральных установках.

**Методы исследований.** При решении поставленных задач использовались методы теории электрических цепей, теории случайных процессов, теории погрешностей, теории вероятности и математической статистики, численные методы с применением ЭВМ, методы компьютерного моделирования.

#### **Научная новизна.**

1. Предложены оригинальные алгоритмы одновременного измерения центральной длины волны и ширины спектра оптического излучения по сигналам двух фотоэлектрических преобразователей с гауссовыми и линейными спектральными характеристиками.

2. Проведена оценка случайной погрешности измерения центральной длины волны монохроматического оптического излучения двумя фотоэлектрическими преобразователями с гауссовыми и линейными спектральными характеристиками.

3. Методами математического моделирования проведен анализ точности аппроксимации спектральных характеристик реальных оптических фильтров различными функциями. Показано, что погрешность определения параметров оптического излучения минимальна при аппроксимации спектральных характеристик реальных светофильтров фотоэлектрических преобразователей сплайнами третьего порядка.

4. Исследовано влияние мультипликативных и аддитивных составляющих шума на точность измерения центральной длины волны и ширины спектра оптического излучения по сигналам двух фотоэлектрических преобразователей с гауссовыми спектральными характеристиками. Установлено, что погрешность измерения параметров спектра излучения, обусловленная аддитивными шумами, минимальна при центральной длине волны излучения, лежащей в середине между максимумами спектральных характеристик фотоприемников.

5. Показано, что спектр излучения светодиодов более точно описывается суперпозицией двух гауссовых функций; такая аппроксимация позволяет повысить точность определения параметров спектра СИД по сигналам двух фотоэлектрических преобразователей.

6. Предложен способ измерения теплового импеданса СИД по изменению спектра излучения при импульсной модуляции рабочего тока СИД.

#### **Практическая значимость результатов работы.**

На основе проведенных исследований:



1. разработана экспериментальная установка для измерения параметров узкополосного оптического излучения в динамическом режиме;

2. создан лабораторный стенд для оперативного контроля параметров спектра СИД и полупроводниковых лазеров;

3. предложен способ контроля температуры кристалла СИД на основе изменения сдвига спектра излучения СИД при ступенчатой и импульсной модуляции рабочего тока СИД.

Результаты, полученные диссертационной работе, могут быть также полезны при разработке средств измерения скорости на основе доплеровского сдвига спектра, для контроля длины волны излучения в оптоволоконных системах связи и в других системах, требующих оперативного контроля параметров спектра узкополосного излучения.

**Достоверность результатов** исследований подтверждается использованием стандартных методов расчета электрических цепей, методов оценки погрешностей, результатами компьютерного моделирования с применением стандартных пакетов программ, согласованностью полученных теоретических материалов и результатов компьютерного моделирования с экспериментом и результатами, полученными другими авторами.

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на школе-семинаре «Актуальные проблемы физической и функциональной электроники» (г. Ульяновск, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015 гг.), Всероссийской конференции молодых ученых «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика» (г. Саратов, 2012 г., 2013, 2014 гг.), Всероссийской НПК «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем» (г. Ульяновск, 2010, 2011, 2013 гг.), международной НТК «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» (г. Москва, INTERMATIC-2013, 2014, 2015 гг.).

#### **Реализация и внедрение результатов работы.**

Результаты диссертационной работы использованы в Ульяновском филиале Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук при проведении исследований по тематическому плану НИР и НИР по Договор № И2014-15.

**Личный вклад автора.** Основные научные результаты, включая разработку и анализ алгоритмов измерений, оценку и анализ погрешностей измерений, разработку и создание экспериментальной установки для измерения параметров спектра узкополосного оптического излучения, получены автором лично. Экспериментальные исследования выполнялись при поддержке сотрудников базовой кафедры «Радиотехника, опто- и наноэлектроника» УлГТУ. Обсуждение и интерпретация результатов экспериментов осуществлялась непосредственным участием автора.

В соответствии с отчетом о проверке диссертационной работы на плагиат предоставленным сервисом «Антиплагиат» – <http://ulstu.antiplagiat.ru> оригинальность работы составила 86,05%, доля цитирования – 8%, доля заимствования – 5,95%.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 26 научных работы, включая 10 научных статей (в том числе 6 статей в изданиях из перечня ВАК), 16 тезисов докладов на научно-технических конференциях и семинарах.



### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Сергеев В. А., Рогов В. Н., Ульянов А. В. Методические погрешности определения параметров спектра светодиодов двумя фотоприемниками // Измерительная техника. – №4. – 2013. – С. 42-45.

2. Sergeev V.A., Rogov V.N., Ulyanov A.V. Systematic errors when determining the parameters of the spectrum of light-emission diodes using two photoreceivers // Measurement techniques. – 2013. – №4. – P. 415-420.

3. Сергеев В. А., Рогов В. Н., Ульянов А. В. Сравнительный анализ аппроксимирующих функций для спектральных характеристик серийных светофильтров // Измерительная техника. – 2013. – №10. – С. 27-29.

4. Sergeev V. A., Rogov V. N., Ul'yanov A.V. Comparative analysis of approximation functions for spectral characteristics of serial light filters // Measurement techniques. – 2014. – №1. – P. 415–420.

5. Сергеев В. А., Ульянов А. В. Сравнительный анализ погрешности аппроксимации спектров излучения светодиодов различными функциями // Известия вузов. Электроника. – 2015. – №3. – С. 317–320.

6. Ульянов, А. В., Сергеев В. А., Рогов В. Н. Методы и средства оперативного контроля параметров спектра узкополосного оптического излучения / // Автоматизация процессов управления. – 2015. – №4. – С. 75–80.

Диссертационная работа представляет собой самостоятельное и законченное исследование, выполненное на актуальную тему. Работа выполнена на высоком научном уровне, имеет теоретическое и практическое значение и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения).

Диссертация «Повышение точности двухканальных фотоэлектрических преобразователей для измерения параметров спектра оптических сигналов»

*(название диссертации)*

Ульянова Александра Викторовича

*(фамилия, имя, отчество – при наличии)*

Рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения)

*(отрасль науки)*

*(шифр(ы) и наименование специальности(ей) научных работников)*

Заключение принято на заседании кафедры «Радиотехника»

*(наименование структурного подразделения организации)*

Присутствовали на заседании 14 чел. Результаты голосования: «за» – 14 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол № 3 от «31» марта 2016 г.

  
*(подпись лица, оформившего заключение)*

Ташлинский А.Г., д.т.н., профессор,  
заведующий кафедрой «Радиотехника»

*(фамилия, имя, отчество – при наличии, ученая степень, ученое звание, наименование структурного подразделения, должность)*