



Акционерное общество  
«Научно-исследовательский институт «Вектор»  
(АО «НИИ «Вектор»)



ул. Академика Павлова дом 14-а, г. Санкт-Петербург, 197376;  
тел. (812) 295-10-97, факс 591-72-74;  
e-mail: nii@nii-vektor.ru, www.nii-vektor.ru

ОКПО 07525192  
ОГРН 1117847020400  
ИНН 7813491943/ КПП 781301001



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор АО «НИИ «Вектор»

С.В.Скорых

2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

акционерного общества

«Научно-исследовательский институт «Вектор»

на диссертационную работу Казакова Василия Ивановича

«Система оптического спектрального контроля с высокопорядковой дифракционной  
решеткой»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы  
контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»

**Актуальность темы диссертационного исследования**

Диссертационная работа Казакова В.И. посвящена разработке системы оптического контроля на основе анализа оптических спектров бесконтактным методом, т.е. при отсутствии непосредственного контакта анализируемого излучения и разрешающей системы спектрального прибора. Трансляция оптического сигнала к разрешающей системе спектрального прибора обеспечивается волоконно-оптической линией передачи. Это позволяет исключить неблагоприятные воздействия на спектральный прибор, что особо актуально при контроле различных процессов и объектов, находящихся в экстремальных условиях ( контроль процессов выплавки металлов, горения в теплоэнергетических установках, крашения текстильных материалов и т.п).

При контроле объектов оптическим спектральным методом необходимо осуществлять анализ оптических спектров в широком диапазоне частот с высоким

ГУАП ОД	Документ зарегистрирован
	« 12 » 09 2019 г.
	Вх. № 71-231/19

спектральным разрешением. Определение путей выполнения подобного анализа при относительной простоте конструкции является важной и актуальной задачей.

В диссертационной работе эта задача решена на основе применения дифракционной решетки с особой топологией штрихов, что позволяет производить анализ оптических спектров в +3 или +4 дифракционных порядках, обеспечивающих повышенное спектральное разрешение.

### **Новизна исследований**

Научной новизной обладают предложенные Казаковым В.И. математические модели, разработанные алгоритмы и методики расчета, которые заключаются в следующем:

1. Предложена математическая модель процесса преобразования оптического сигнала в системе спектрального контроля с дифракционной решеткой, которая базируется на методах радиооптики, теории линейных систем и теории сигналов. При этом в строгой математической форме установлена связь между входным оптическим сигналом, представляемым в виде комплексного спектра, и регистрируемым ПЗС-линейкой выходным сигналом в виде отсчетов энергетического аппаратного спектра.

2. Установлены в строгом математическом виде важные свойства сформированных в различных дифракционных порядках оптических спектров. Установленные свойства позволили Казакову В.И. найти способ повышения разрешающей способности спектрального прибора с дифракционной решеткой путем изменения функции пропускания решетки, обеспечивающим возможность выполнения анализа оптических спектров в высоких дифракционных порядках.

3. Проанализировано влияние передачи оптического сигнала по волоконно-оптической системе, что позволило установить уширение аппаратной функции спектрального прибора и ввести коррекцию при детектировании оптического спектра с целью устранения вносимых искажений.

4. Рассмотрено считывание спектрометрической информации каждым пикселем ПЗС-линейки и предложена оригинальная интерпретация этого процесса в форме пространственной частотной фильтрации с представлением отсчетных значений энергетического спектра анализируемого оптического сигнала.

## **Практическая значимость результатов диссертационной работы**

Среди достигнутых практических результатов особо необходимо отметить следующие:

1. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований могут найти применение при разработке оптических спектральных систем на базе дифракционных решеток для решения задач бесконтактного контроля в режиме реального времени при экстремальных условиях эксплуатации, в том числе, в металлургии, двигателестроении, текстильной промышленности и др.

2. Предложенная методика формирования топологии расположения штрихов дифракционной решетки позволяет получить ранее недостижимую возможность работы в третьем и четвертом дифракционных порядках и обеспечить возможность повышения разрешающей способности спектральных приборов.

3. Разработанная математическая модель процесса считывания спектрометрической информации с помощью ПЗС-линейки может быть адаптирована и к другим приборам оптического диапазона, например, призмному спектральному прибору.

4. Внедрение лабораторного макета системы оптического спектрального контроля в учебный процесс в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения позволяет расширить кругозор студентов, изучающих дисциплины «Основы оптики» и «Когерентная оптика», стимулировать их к проведению самостоятельных научных исследований и инновационным разработкам.

5. Представленные в диссертационной работе научно-технические результаты послужили основой выполнения пяти НИР по грантам Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), а также НИР «Исследование и разработка нового поколения устройств спектрально-корреляционного анализа сигналов оптического диапазона для экстремальных условий эксплуатации» в рамках выполнения государственных заданий высшим учебным заведениями научным организациям в сфере научной деятельности, проект № 8.9203.2017/8.9 (2017-2019).

Перечисленные научные и практические результаты достаточно подробно отражены в 25 печатных работах, 2 из которых опубликованы Казаковым В.И. самостоятельно, без соавторов. Среди списка опубликованных работ присутствует 1 патент на полезную модель, 3 работы в журналах из списка ВАК, соответствующих

специальности 05.11.13, и 10 работ в трудах иностранных конференций, которые индексируются SCOPUS.

Широкая апробация работы на российских и международных конференциях свидетельствует о высоком уровне выполненных научных исследований.

### **Достоверность полученных научных результатов**

Достоверность полученных результатов предопределяется использованием в процессе исследований известных, проверенных в радиотехнике методов анализа, которые успешно применены при описании действия оптического спектрального прибора, базирующегося на дифракционной решетке, и подтверждается согласованностью представленных теоретических и экспериментальных данных, а также результатами компьютерного моделирования.

### **Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы**

Полученные результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для использования на предприятиях и в организациях, занимающихся исследованиями и разработками в следующих областях:

- контроль процессов горения в двигателестроении и теплоэнергетике (ФГУП ЦНИИМаш, г. Королев, ФГУП «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша», г. Москва, ОАО «Машиностроительный завод «Арсенал», Санкт-Петербург);

- металлургическое производство (ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», Свердловская обл., ОАО «Уральская горно-металлургическая компания», Свердловская обл., Объединённая компания «РУСАЛ», г. Москва);

- автоматизация процессов крашения в текстильной промышленности.

Кроме того, результаты работы могут быть использованы и в других областях при разработке систем автоматического управления различными физическими и технологическими процессами на базе оптического спектрального контроля.

Материалы диссертационной работы могут быть рекомендованы к использованию в учебном процессе по курсам «Основы оптики», «Основы теории оптических сигналов», «Оптическая обработка информации», «Экспериментальная спектроскопия», «Когерентная оптика».

Считаем целесообразным выполнение разработки на базе созданного лабораторного макета опытного образца оптической системы контроля для решения промышленных задач.

### **Замечания по работе**

1. В первом разделе обзор оптических спектральных приборов представляется недостаточно полным. Не рассмотрены приборы на базе брэгговских решеток и на базе резонаторов Фабри-Перо. Не выполнено их сопоставление по основным техническим характеристикам с исследуемым спектральным прибором с дифракционной решеткой.

2. Не обоснован выбор топологии высокопорядковой дифракционной решетки. Рассмотренный вариант топологии позволил получить улучшение разрешающей способности на 15 %, хотя в работе отмечается, что при оптимизации топологии спектральное разрешение может быть увеличено до 2-3 раз. Считаем, что вопросу разработки топологии высокопорядковой дифракционной решетки можно было уделить большее внимание.

3. При разработке модели считывания спектрометрической информации не обращено внимание на интервалы между пикселями ПЗС-линейки, что может привести к потерям спектрометрической информации, а также не представлен пример соотношения разрешающих способностей, определяемых комплексной аппаратной функцией и размерами пикселей.

4. Не оговариваются температурные ограничения на элементы конструкции прибора, вводимые в контакт с полем излучения.

Указанные недостатки не снижают как теоретической, так и практической ценности диссертационной работы, направленной на разработку системы оптического контроля с улучшенной разрешающей способностью.

### **Заключение**

В целом диссертационная работа Казакова В.И. на тему «Система оптического спектрального контроля с высокопорядковой дифракционной решеткой» представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему, обладает новизной и практической значимостью, характеризуется последовательностью и грамотностью изложения материала. Работа содержит комплексное решение научно-технической задачи разработки системы оптического спектрального контроля для экстремальных условий эксплуатации с улучшенной разрешающей способностью и заслуживает положительной оценки. В процессе

исследования применены общепринятые научные положения и теоретические подходы, а также использованы современные методы компьютерного моделирования.

Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертации.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.11.13 в части пунктов:

- п.1. Научное обоснование новых и усовершенствование существующих методов аналитического и неразрушающего контроля природной среды, веществ, материалов и изделий;

- п.2. Разработка и оптимизация методов расчета и проектирования элементов, средств, приборов и систем аналитического и неразрушающего контроля с учетом особенностей объектов контроля;

- п.3. Разработка, внедрение и испытания приборов, средств и систем контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, имеющих лучшие характеристики по сравнению с прототипами;

- п.6. Разработка алгоритмического и программно-технического обеспечения процессов обработки информативных сигналов и представление результатов в приборах и средствах контроля, автоматизация приборов контроля.

Работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации, Казаков Василий Иванович, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Диссертация и отзыв на нее обсуждены и одобрены на заседании научно-технического центра НТЦ-5 АО «НИИ «Вектор» (протокол № 1 от 09.09.2019).

Начальник научно-технического  
центра НТЦ-5

Куценко Владимир Викторович

Главный научный сотрудник  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник

Кiryukhin Александр Максимович

Ведущий научный сотрудник  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

Минин Владимир Иванович