

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу
Ваганова Михаила Александровича «*Резонансный метод бесконтактного анализа оптических спектров и его техническая реализация для решения задач контроля процессов горения*», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Диссертационная работа Ваганова М.А. посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию одного из методов спектрального анализа излучения электромагнитных волн. В диссертационной работе анализ оптических спектров проводится с помощью созданного диссертантом оптоэлектронного устройства, которое можно отнести к классу оптических спектрометров. Предлагаемое спектральное устройство состоит из системы оптических интерференционных фильтров, блока регистрации сигналов, в состав которого входят приемники оптического излучения, а также электронные блоки обработки электрических сигналов. Выносная приемная оптическая часть прибора обеспечивает передачу анализируемого излучения от удаленного источника к системе регистрации по волоконно-оптическому жгуту. Это позволяет разнести в пространстве объект исследования и части спектрального прибора, наиболее чувствительные к внешнему температурному воздействию. Особенность предложенного метода изучения спектров заключается в возможности параллельного анализа, причем данный анализ проводится в реальном масштабе времени. Разработанная оптоэлектронная система анализа рекомендована диссертантом для бесконтактного контроля различных физических процессов, таких как горение, свечение или воспламенение. Несомненно, что созданная система спектрального анализа может применяться в различных областях науки, техники и производства. Например, при контроле или предупреждении нештатных ситуаций при работе ракетных, авиационных двигателей, при мониторинге энергетических установок или проведении различных технологических процессов. К подобным процессам относятся технологические операции в металлургии, машиностроении, химической, текстильной промышленности и др. Известно, что оптические спектрометры в настоящее время уже нашли весьма широкое применение в науке и технике. Однако потребности практики стимулируют исследования по совершенствованию характеристик уже существующих спектральных приборов и разработке новых методов бесконтактного спектрального анализа. Один из подобных методов оптического спектрального анализа и является предметом исследования в диссертационной

работе Ваганова М.А. Таким образом, **важность и актуальность темы** диссертационного исследования не вызывает сомнений.

Рецензируемая работа состоит из введения, четырех глав текста, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 152 страницы, в том числе 50 рисунков и 4 таблицы. Список цитированной литературы содержит 112 библиографические ссылки, включая 24 публикации автора по теме диссертации, из которых следует отметить 2 патента и 3 статьи в отечественном журнале из перечня ВАК.

Во **введении** обоснована актуальность темы работы, определены цели и задачи диссертационной работы, приводятся научные положения, выносимые на защиту, объявляется их научная новизна и научная значимость, а также подтверждается практическая ценность полученных в диссертации результатов.

В первой главе диссертации содержится обзор литературы, которая знакомит с тематикой исследования. В главе также сделан обзор существующих оптических методов, с помощью которых осуществляется контроль процессов горения. Показано, что спектроскопические методы обнаружения возгорания или бесконтактного мониторинга протекания процессов горения являются эффективными. Это обусловлено тем, что в контролируемую среду не вносятся возмущения, при этом сохраняется высокая чувствительность, а также быстрый отклик на изменение физических процессов в исследуемом объекте. В первой главе диссертации также обсуждаются типы оптических приборов для спектрального анализа нагретых объектов, среди которых выделяются дифракционные приборы на решетках, в том числе акустооптических, и системы на базе интерферометров. В данном разделе рассматривается передача излучения по оптическом волокну от исследуемого объекта к селектору длин волн. При этом обсуждаются достоинства и недостатки применения в спектрометрах одномодового и многомодового волокна. Наконец, обсуждаются принципы построения спектральных приборов для бесконтактного анализа спектров «резонансным методом». Обсуждаются два варианта спектрометров. В первом анализаторе с известным принципом работы применяется оптическое волокно с последовательно расположенными брэгговскими волоконными решетками. Принцип работы такого прибора реализован в спектрометре, который защищен авторским патентом. К сожалению, подробное описание устройства в рукописи диссертации отсутствует. Второе устройство использует волоконно-оптический жгут для передачи излучения в селектор длин волн и набор интерферометрических фильтров, непосредственно осуществляющих

параллельный анализ спектра. Во введении приведен краткий обзор аналитических методов спектроскопии и некоторых положений теории линейных систем. Автор делает вывод, что «некоторые аспекты теории спектрометрии недостаточно разработаны».

По мнению рецензента, обзорная глава диссертации содержит четко написанный и важный для понимания проблемы материал. Однако её объем можно было сократить за счет увеличения других разделов рукописи, в которых непосредственно представлен созданный спектральный прибор.

Элементы теории линейных систем и теории сигналов в приложении к спектроскопии подробно рассмотрены во **второй главе** диссертации. Подробно обсуждается обоснованность перенесения методов параллельного анализа спектров, известных в радиофизике, в теорию оптических систем. В частности, анализируется последовательное прохождение сигналов через отдельные элементы оптической системы и доказывается связь между математическим спектром, характеризующим исследуемый объект, и физическим спектром, поучаемым с помощью оптического спектрального прибора. Представленный во второй главе материал убеждает правильностью выводов. Однако в качестве замечания можно отметить, что проведенное теоретическое рассмотрение в значительной степени носит методический характер. Представленный текст скорее соответствует диссертации по физико-математическим наукам или содержанию учебника по радиофизике, чем диссертации на соискание степени кандидата технических наук.

В теоретической **третьей главе** диссертационного исследования непосредственно анализируется работа многоканального оптического анализатора спектра. При этом вновь используется аналогия с радиофизикой, а сделанные выводы иногда представляются очевидными (например, текст на стр. 95-96). Рецензент полагает, что текст и данной главы диссертации носит академический характер и чрезмерно перегружен громоздкими аналитическими выражениями, которые зачастую в диссертации напрямую не используются. Например, соотношение (52), в котором учитывается лишь нулевое приближение, а количественные оценки отсутствуют.

Четвертая глава диссертации, содержит результаты экспериментального исследования созданного Вагановым М.А. лабораторного макета спектрального прибора. Представлено описание входной формирующей оптики и волоконно-оптического жгута. Для работы выбрано многомодовое волокно, что увеличивает энергию, поступающую на фильтры. В качестве селектора длин волн света выбраны 3 интерференционных фильтра

видимого диапазона со спектральным разнесением длин волн 75 нм и 150 нм. Конкретная величина полосы пропускания фильтров в диссертации не указана, однако из рисунков можно понять, что она превышает 10-15 нм, что говорит о низком спектральном разрешении. Приемный электронный блок включает в себя три фотоприемника, соединенные с мультиплексором. Электронная система приема допускает регулировку амплитуды электрических сигналов, поступающих в мультиплексор и далее в микроконтроллер.

Диссертант приводит данные экспериментального исследования прибора. В частности, им показано, что оптический сигнал на выходе жгута прямо пропорционален количеству волокон. Потери на ввод излучения в волокно и его передачу к фильтрам составляет 15-20 дБ, тем не менее мощность светового потока, приходящей на детектор, оказывается чрезвычайно низкой. К сожалению, в рукописи не указано, какие потери устранимы и обусловлены конструктивными особенностями и недостатками оптической системы, а какие неизбежны и возникают из-за применения узкополосных селекторов, отсекающих основную часть исходной широкополосной световой энергии. В данной главе диссертации представлены результаты тестирования прибора на трех длинах волн при использовании лампы накаливания и галогенной лампы в качестве источников света. Получено совпадение с ожидаемыми результатами в пределах 4-6%, что говорит о работоспособности устройства. Следует отметить, что длины анализируемых волн были спектрально разнесены достаточно далеко, что не позволило оценить перекрестные помехи в спектрометре. Диссертант также не оценивает уровни минимального оптического сигнала и соотношение сигнал-шум в приборе.

В четвертой главе обсуждаются области применений созданной системы фильтрации, в которых подобные приборы могут оказаться востребованными. Однако из данных, приведенных в Таблицах 3 и 4, видно, что из-за низкого спектрального разрешения в приборе не всегда возможно выделить отдельные линии в спектрах излучения или поглощения многих химических элементов и соединений. Например, спектральное разнесение спектральных линий серы (180.73 нм) и кремния (181.69) оказывается существенно меньшим, чем полоса пропускания 10 нм использованных интерференционных фильтров.

К основным результатам диссертационной работы можно отнести следующее:

1. Создан защищенный патентом действующий лабораторный макет прибора для анализа на фиксированных длинах волн спектров оптического излучения и бесконтактного контроля процессов горения. Достоинством разработанного прибора является доказанная возможность проведения параллельного анализа, т.е. на нескольких длинах волн одновременно. Также

важно, что анализ спектров проводится в реальном масштабе времени. Полезной особенностью устройства является применение оптического волокна для передачи излучения от нагретого объекта к приемному устройству; чувствительному к температурным воздействиям.

2. Экспериментальное доказательство предпочтительности применения в приборе оптического многомодового волокна вместо одномодового. Показано, что применение волокна с большим диаметром сердцевины значительно увеличивает чувствительность устройства фильтрации и слабо влияет на его спектральное разрешение. Это допускает работу спектрометра со световыми пучками, имеющими волновой фронт, принципиально отличающийся от плоского.

3. Подтверждение прямой связи между комплексным оптическим спектром, характеризующим исследуемый объект, и комплексным спектром на выходе оптической части многоканального спектрометра. Это доказывает обоснованность применения основных положений теории колебаний и радиофизики для анализа процессов в созданном оптическом многоканальном устройстве.

Недостатком работы является:

1. Излишне подробное изложение известных положений теории спектров сигналов, известных из радиофизики, теории колебаний и математической физики. Присутствие в рукописи фрагментов текста с очевидными утверждениями и многочисленными повторами, например, о необходимости использования волокна для исключения контакта чувствительно части прибора и нагретого объекта.

2. Малый объем раздела, в котором непосредственно описывается и обсуждается разработанное устройство. Например, отсутствие количественных данных о спектральных характеристиках использованных интерференционных фильтров – главных элементов устройства фильтрации. Из текста не понятен выбор фильтров с чрезвычайно низким спектральным разрешением. Не ясно, объясняется ли это отсутствием у диссертанта качественных оптических элементов, или низкое разрешение в фильтрах принципиально необходимо для увеличения доли энергии световых сигналов на детекторе.

3. Из текста рукописи не понятно, почему для тестирования прибора использовано излучение на длинах волн, разделенных столь большими спектральными интервалами 70 и 150 нм по сравнению с полосой пропускания фильтров. В оптических анализаторах спектра необходима оценка величины перекрестных помех, определение уровня минимально обнаружимых сигналов на входе прибора и отношение сигнал/шум на его выходе.

Отсутствие данных об этих характеристиках спектрометра, несомненно, снижает общее впечатление от диссертационной работы.

По мнению рецензента отмеченные недостатки не влияют на положительную оценку диссертационной работы Ваганова М.А.

Результаты диссертации Ваганова М.А. могут быть рекомендованы для использования в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения», Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург), Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН (Москва), в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Научно-техническом центре уникально приборостроения РАН (Москва), в Институте космических исследований РАН (Москва), Санкт-Петербургском государственном университете информатики, точной механики и оптики, в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана, в ЦНИИМАШ и Исследовательском центре им. М.В. Келдыша (Москва). С выводами работы необходимо познакомить специалистов из МЧС РФ, а также организаций, занимающихся разработкой аппаратуры для контроля технологических процессов в металлургии, авиастроении, химической, текстильной промышленности и др.

Содержание автореферата соответствует содержанию рукописи диссертации.

В заключение необходимо отметить, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, отвечает требованиям «Положения о присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Ваганов Михаил Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Официальный оппонент:

Доцент физического факультета
Московского государственного
университета им. М.В. Ломоносова
кандидат физико-математических наук


10.03.2014 г.

В.Б. Волошинов

Подпись кандидата физико-математических наук, доцента физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова подтверждаю

Декан физического факультета
Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова
профессор





Н.Н. Сысоев