

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

НПЦ «Акварин»



М.З.Левин

марта 2014

О Т З Ы В

официального оппонента

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

Актуальность диссертационной работы вытекает из возрастающего интереса различных отраслей промышленности к исследованию процессов горения с целью его контроля и оптимизации, ибо сам процесс горения лежит в основе разработок различных технических систем (ракетные двигатели, двигатели внутреннего сгорания и т.д.).

Среди многих методов оптического контроля горения наиболее информативным является спектроскопический метод, основанный, как известно, на исследовании электромагнитного излучения, несущего сигнал о процессе горения.

Высокие температуры, возникающие в процессе горения, наряду с другими неблагоприятными условиями, не позволяют использовать контактные методы спектроскопии и заставляют фирмы - производители приборов разрабатывать бесконтактные спектрометры, позволяющие решать

задачу контроля горения методом, исключая непосредственный контакт прибора с полем излучения источника.

Все фирмы выпускающие бесконтактные спектрометры решают эту задачу с помощью оптического волокна (одномодового или многомодового), передающего сигнал от объекта на безопасное расстояние от источника сигнала. Использование оптического волокна приводит или к снижению чувствительности прибора (для одномодового волокна) или к ухудшению разрешающей способности прибора (для многомодового волокна).

Эти два обстоятельства ставят перед разработчиками задачу дальнейшего развития и совершенствования теории и практики оптической спектроскопии путём создания бесконтактных спектрометров с улучшенной чувствительностью при сохранении или даже улучшении разрешающей способности прибора.

Поэтому сформулированная автором цель диссертационной работы: «повышение чувствительности контроля процессов горения на основе резонансного метода бесконтактного параллельного анализа оптических спектров» представляется актуальной.

Движение к поставленной цели автор начинает с подробного анализа в разделе 1 существующих методов контроля процессов горения оптическими методами, указывая при этом, что наиболее информативными для исследования процессов горения являются спектроскопические методы.

Сосредоточившись на спектроскопических методах контроля, автор рассматривает принципы получения информации в оптическом диапазоне, и проводит сравнительный анализ спектральных приборов выполняющих контактный и бесконтактный анализ спектра.

В этом же разделе рассмотрены принципы построения спектрометров, выполняющих анализ спектра оптического излучения резонансным методом, который предлагается автором. Указывается, что резонансный метод может быть реализован последовательным способом, когда результат измерений определяется параметрами волоконной решетки Брэгга, и параллельным,

когда результат определяет полоса пропускания резонаторов, при этом оба способа позволяют исключить значительную часть недостатков, свойственных применяемым оптическим спектральным приборам, но последовательный способ имеет намного меньшую скорость анализа, чем параллельный.

Более высокая скорость параллельного анализа заставляет искать пути переноса метода параллельного анализа из радиодиапазона в оптический диапазон, ибо отклик резонатора на входное воздействие описывается интегралом, представляющим комплексный текущий спектр с весовой функцией, то есть резонатор формирует не истинный спектр анализируемой функции, а спектр взвешенной функции вес которой зависит от характеристики резонатора.

Удачная идея использования радиооптических методов для решения поставленной задачи исследуется автором в разделе 2, в которой автор делает попытку перенесения методов обработки динамических сигналов радиодиапазона на обработку динамических сигналов оптического диапазона с учётом понятий комплексного спектра и частотных функций, вызванных включением резонаторов в систему анализа входного сигнала.

При теоретическом описании последовательного прохождения сигнала, анализируемого оптического спектра, через все узлы спектрального прибора автор предложил разделить этот процесс на два этапа: анализ комплексного спектра с помощью анализатора комплексного спектра, входящего в состав спектрального прибора, и последующей обработки полученного комплексного спектра детектирующей системой прибора для получения энергетического спектра в форме интеграла суперпозиции.

Полученный результат раздела 2 позволяет обобщить полученное соотношение в одном канале на N параллельных каналов, что автор и делает в третьем разделе.

В этом разделе автором впервые предложено рассматривать резонаторную систему спектрометра как многомерную автономную

линейную систему, а её исчерпывающую характеристику – аппаратную функцию ввести в матричном виде. Этот шаг позволил установить связь между истинным комплексным спектром и получаемым комплексным спектром на выходе резонаторной системы спектрометра в матричной форме и выполнить переход к энергетическому спектру, ибо результатом спектрального измерения в оптическом диапазоне является энергетический спектр.

В результате теоретических разработок автора в разделах 2 и 3 получено основное соотношение теории спектральных измерений в матричной форме, устанавливающее связь между истинным распределением энергии по спектру, отражающим состояние контролируемого процесса горения, и спектральным распределением энергии по спектру, которое получено экспериментально с помощью многоканального спектрометра, дающего исследователю информацию о состоянии процесса горения.

Описание аппаратной реализации прибора контроля в форме многоканального спектрометра оптического диапазона содержится в разделе 4, в котором приведены сравнительные результаты лабораторных испытаний прибора с помощью тестовых источников (лампа накаливания и вольфрамовая галогеновая лампа). Испытания показали обнадеживающие результаты в части повышения чувствительности прибора при применении волоконно-оптического жгута в качестве линии передачи анализируемого оптического сигнала, получения спектральных характеристик источников излучения, выявили зависимость чувствительности прибора от количества волокон в жгуте и дали основания для разработки технических средств бесконтактной оптической спектроскопии с использованием резонаторного метода.

Рассмотренные в конце раздела 4 области возможного применения многоканального резонаторного спектрометра оптического диапазона подтверждают актуальность диссертационной работы.

Решая поставленную в работе задачу, автор в итоге получил целый ряд новых и важных научно - технических результатов, главными из которых можно считать:

1. Для контроля процессов горения впервые разработан метод бесконтактного анализа спектра оптических излучений, основанный на явлении резонанса в n параллельных каналах, и реализующий его прибор контроля с улучшенной чувствительностью без ухудшения разрешающей способности по сравнению с существующими аналогами.

2. Впервые проведено теоретическое исследование процесса анализа спектра многоканальным спектрометром на основе математического аппарата (теория многомерных линейных, методы матричного анализа и теория вытянутых волновых сфероидальных функций), который в оптической спектрометрии раньше не применялся, что позволило дать адекватное методу параллельного анализа описание работы разработанного прибора.

3. В отличие от известной методики описания работы оптического спектрального прибора разработанный теоретический подход дает последовательное описание прохождения анализируемого оптического сигнала, отражающего состояние контролируемого процесса горения, через все узлы спектрального прибора.

4. Новизна разработанного спектрометра заключается в применении набора оптических резонаторов и волоконно-оптического жгута, используемого для ввода излучения в резонаторы и позволяющего удалить прибор контроля на безопасное расстояние от очага горения, и тем самым исключить его непосредственный контакт с полем излучения пламени.

Достоверность результатов подтверждается тем что:

1. Теоретические изыскания автора нашли своё подтверждение в практической работе по созданию бесконтактного резонаторного спектрометра, прошедшего лабораторные испытания и показавшего на них удовлетворительные результаты. Известное выражение «лучшее

подтверждение теории есть практика» полностью подтверждается работой соискателя.

2. Результат преобразования комплексного математического спектра в одном канале резонаторной системы многоканального резонаторного спектрометра оптического диапазона нашёл своё подтверждение в работе А.А. Харкевича «Спектры и анализ», где из других теоретических соображений получено выражение для текущего спектра функции времени аналогичное результату работы.

3. Применением в процессе исследований адекватных физических и математических моделей, корректным использованием современных аналитических и расчетных методов.

Соглашаясь, в целом, с теоретическими и техническими достижениями автора считаю необходимым высказать некоторые замечания, касающиеся материалов изложенным в работе.

1. Формула (46) на стр.83 получена на основании теоремы Уиттекера, в которой используется кардинальный синус. Использование простого синуса, как это сделано в работе, нарушает условие аналитичности функции для любого аргумента.

2. На стр.68 неудачно обозначена замена переменных для временного интервала буквой x . Этой же буквой обозначается длина волны, частота или координаты в плоскости спектра (стр.45), что приводит к затруднению понимания материала.

3. При испытании прибора проведена проверка чувствительности прибора, но второй показатель качества спектрометра – его разрешение не исследовался. Однако, фирмы, разрабатывающие спектрометры, стремятся оценить этот важный показатель хотя бы путём измерения ширины аппаратной функции. Без исследования этого параметра заявления о создании прибора с разрешением не хуже чем....., сделанные в начале работы, остаются только ничем не подтверждёнными пожеланиями.

4. На мой взгляд, вся работа имеет явно инновационный характер, ибо впервые созданный резонаторный бесконтактный спектрометр потребовал и впервые проведенных теоретических разработок. Этот факт должен был найти более яркое отражение в разделе «Заключение», тем более, что ссылки на инновационные оценки работы в нём имеются.

Таким образом, в целом работа представляет собой широко задуманное и продуктивно выполненное научное исследование по разработке резонаторных бесконтактных спектрометров для решения задач контроля процессов горения.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в публикациях. Автором опубликовано 24 печатных работ, из них 3 – статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и получено 2 патента РФ.

Материалы диссертации изложены ясно, логически увязаны, и свидетельствуют о вкладе соискателя в науку и технику. Работа хорошо структурирована, написана доступным и технически грамотным языком, а полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам.

Не могу не отметить удобство оценки личного вклада автора путём формирования последней строки выводов для каждой главы, содержащей список ссылок на работы автора по данному разделу.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Ваганова Михаила Александровича «Резонансный метод бесконтактного анализа оптических спектров и его техническая реализация для решения задач контроля процессов горения» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основе разработанного нового метода бесконтактного анализа оптических сигналов и созданного, реализующего этот метод, многоканального спектрометра решена актуальная задача повышения чувствительности контроля процессов горения.

Диссертация соответствует специальности 05.11.13 - «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» и

отвечает требованиям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор диссертационной работы, Ваганов М.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Официальный оппонент
д.т.н.

А.В. Рудинский

Подпись А. В. Рудинского подтверждаю.

Зам. начальника отдела кадров



Е.А. Данильченко