

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Шерстова Игоря Владимировича на тему: «Лазерные оптико-акустические газоанализаторы на основе резонансного дифференциального оптико-акустического детектора», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.6 – Оптика

Актуальность темы. Диссертация И.В. Шерстова «Лазерные оптико-акустические газоанализаторы на основе резонансного дифференциального оптико-акустического детектора» посвящена разработке современных лазерных газоанализаторов на основе метода оптико-акустической спектроскопии для проведения исследования газового состава атмосферы, различных технологических газовых смесей, выдыхаемого воздуха и проч. в режиме реального времени и на месте отбора пробы.

Целью диссертационного исследования является разработка компактных высокочувствительных лазерных оптико-акустических газоанализаторов на основе перестраиваемых лазеров среднего ИК диапазона и резонансного дифференциального оптико-акустического детектора, обеспечивающих работу в режиме реального времени и в полевых условиях, повышение точности и воспроизводимости измерения поглощения газа лазерными ОА-газоанализаторами в условиях нестабильности длины волны лазерного излучения, изменения температуры и состава исследуемых газовых смесей, расширение сфер применения лазерных ОА-газоанализаторов.

В настоящее время детектирование примесей различных газов чрезвычайно важно для обнаружения течей в контейнерах, скрытого вещества, и проч. Крайне актуально обнаружение метана при геологоразведочных работах, в шахтах, в подземных сооружениях. Для безопасности работников крайне важно оперативное обнаружение опасных газов. Сфера применения устройств для обнаружения газовых примесей существенно зависит от чувствительности приборов, стоимости, габаритов, надёжности, оперативности получения результата измерения.

Научная новизна и практическая значимость исследований. В диссертации И.В. Шерстова представлены результаты, обладающие научной новизной, имеющие практическую значимость:

- Разработан вариант резонансного дифференциального ОАД с малой длиной буферных полостей, имеющий минимальную чувствительность к поглощению в окнах.

- Разработан метод оперативного измерения низшей резонансной частоты ОАД в условиях изменения температуры и состава газовых смесей.

- Для снижения погрешности измерения концентрации газа-маркера, связанной с нестабильностью длины волны лазера, разработаны новые оптические схемы ОА-газоанализатора с отпаянной газонаполненной ОА-ячейкой вместо измерителя мощности лазера.

- Разработан переносной высокочувствительный лазерный ОА-течеискатель SF₆, которая превышает чувствительность лучших коммерческих течеискателей SF₆ в мире как минимум в 1000 раз.

- Разработан лазерный ОА-газоанализатор медицинского назначения на основе ПГС ($\lambda = 2,5 \dots 10,8$ мкм) для проведения многокомпонентного экспресс-анализа выдоха пациентов, страдающих различными заболеваниями.

- Разработан ОА-газоанализатор метана на основе квантово-каскадного лазера ($\lambda \approx 7,7$ мкм), предназначенный для выполнения ряда геолого-геофизических работ в полевых условиях на борту БПЛА.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Достоверность полученных результатов диссертационной работы подтверждается хорошим совпадением теоретических расчетов с результатами экспериментальных измерений, повторяемостью результатов. Разработанный высокочувствительный лазерный ОА-течеискатель SF₆ («KARAT» / «SF₆ LaserGasTest») производится мелкими сериями, официально зарегистрирован в реестре Средств измерений Росстандарта. Другие разработанные образцы лазерных ОА-газоанализаторов также прошли проверку в различных областях науки и техники, в т. ч. в медицине.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при разработке новых образцов высокочувствительных переносных лазерных ОА-газоанализаторов, работающих в режиме реального времени и в месте забора пробы, по чувствительности приближающихся к газовым хроматографам.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Диссертация И.В. Шерстова состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, списка литературы, трех Приложений, в т. ч. Акты внедрения, занимает 257 страниц.

Во Введении дана краткая характеристика диссертационной работы, сформулированы актуальность, цели и задачи исследования, защищаемые положения, описаны научная новизна, практическая значимость, апробация результатов, личный вклад автора.

В главе 1 проведен анализ современного состояния лазерной оптико-акустической спектроскопии. Показано, что в настоящее время наивысшая чувствительность лазерных ОА-газоанализаторов получена при использовании нескольких вариантов резонансных ОАД или их аналогов. Сделан вывод, что традиционные резонансные ОАД ввиду своей простоты и надежности имеют определенный потенциал для построения высокочувствительных портативных лазерных ОА-газоанализаторов, пригодных для работы в реальном времени и в полевых условиях, в т. ч. для установки на БПЛА.

В главе 2 проведено исследование акустических мод резонансных ОАД различных типов. Показано, что в дифференциальных ОАД с двумя параллельными акустическими резонаторами формируются кольцевые акустические моды типа А, которые охватывают оба акустических резонатора дифференциального детектора, выступают из акустических резонаторов в буферные полости детектора на малое расстояние ($\sim 1 \dots 2$ мм) и не достигают фланцев (окон) дифференциального ОАД, что существенно снижает чувствительность данных детекторов к поглощению излучения лазера окнами детектора. Также установлено, что в резонансном дифференциальном ОАД формируются синфазные продольные акустические моды типа В, которые распространяются по всей длине детектора, включая буферные полости, а пучности колебаний давления этих мод расположены на фланцах (окнах) ОАД. Экспериментально показано, что максимальный частотный интервал между резонансами акустических мод А1 и В2, достигается при малой длине буферных полостей, что имеет свои преимущества. Разработан специальный алгоритм оперативного измерения низшей резонансной частоты дифференциального ОАД, обеспечивающий высокую воспроизводимость и снижение погрешности измерения газа-маркера.

В главе 3 представлены результаты разработки и исследования лазерного ОА-течеискателя SF_6 . Для снижения погрешности измерения концентрации SF_6 использована нормировка сигналов поглощения в измерительном ОАД по сигналам поглощения в отпаянной газонаполненной ОА-ячейке, что обеспечивает значительную компенсацию зависимости показаний ОА-газоанализатора SF_6 от нестабильности

длины волны CO₂ лазера. На основе предложенной оптической схемы с отпаянной газонаполненной ОА-ячейкой разработан лазерный ОА-газоанализатор SF₆ с пороговой чувствительностью ~100 ppt SF₆. Показано, что минимальная необходимая мощность излучения CO₂ лазера составляет ~150 мВт. Разработана и испытана новая серия «*KARAT*» переносных высокочувствительных лазерных ОА-течеискателей SF₆, чувствительность которых в 1000 раз превосходит чувствительность любого коммерческого течеискателя SF₆. ОА-течеискатель элегаза «*SF₆ LaserGasTest*» производится мелкими сериями, получил Свидетельство об утверждении типа средств измерения РФ.

В главе 4 описаны результаты разработки и исследования лазерного ОА-газоанализатора «*ЛазерБриз*» на основе широкополосного перестраиваемого ПГС (2,5...10,8 мкм) и резонансного дифференциального ОАД. С помощью разработанного ОА-газоанализатора исследованы спектры поглощения 24 различных газов. Лазерный ОА-газоанализатор «*ЛазерБриз*» активно используется для исследования проб выдоха пациентов медицинских клиник.

В главе 5 представлена разработка аэромобильного лазерного ОА-газоанализатора метана на основе квантово-каскадного лазера ($\lambda \approx 7,65$ мкм). Проведено сравнение параметров разработанного ОА-газоанализатора метана с лучшими результатами работ других групп исследователей в мире. Показано, что разработанный лазерный ОА-сенсор метана является одним из наиболее высокочувствительных ОА-газоанализаторов CH₄, который может быть использован на борту БПЛА.

В Заключение подводятся итоги диссертационной работы, формулируются ее основные результаты. В Приложении приведены дополнительные сведения по разработанным лазерным ОА-газоанализаторам, а также Акты внедрения.

В целом диссертация И.В. Шерстова является законченным исследованием, представляет решение актуальных задач по лазерному газоанализу, объединенных общим подходом, обеспечивающим возможность разработки новых высокочувствительных ОА-газоанализаторов, конкурирующих по чувствительности с газовыми хроматографами.

Замечания по работе. К содержанию работы могут быть сделаны следующие замечания:

1) В главе 1 представлен обзор современного состояния лазерной оптико-акустической спектроскопии. Рассмотрены различные типы оптико-акустических

детекторов и их аналоги. Однако, по-моему, недостаточно освещены и другие методы измерения поглощения газов, например, многопроходные поглощающие ячейки, диодная лазерная спектроскопия, методы CRDS, ICOS и др.

2) В диссертации описаны ОА-газоанализаторы на основе лазеров среднего ИК диапазона (CO₂ лазер, ПГС, ККЛ). Почему не использованы лазеры других спектральных диапазонов (ближний ИК, видимый, УФ) ?

3) В главе 4 диссертации описан лазерный ОА-газоанализатор «ЛазерБриз», предназначенный для проведения экспресс-анализа проб выдыхаемого воздуха. Предложена новая система пробоподготовки (осушения газовых проб) на основе вымораживания влаги в морозильнике. Однако при заявленных температурах до -40 °С в пробе выдыхаемого воздуха кроме паров воды могут быть выморожены и другие газовые компоненты, подлежащие измерению.

Несмотря на отмеченные замечания, считаю, что диссертационная работа И.В. Шерстова соответствует уровню докторской диссертации и обладает несомненной теоретической и практической значимостью. На основании выполненных автором исследований решена научно-техническая проблема создания компактных высокочувствительных лазерных ОА-газоанализаторов, имеющая важное значение для газоаналитического приборостроения.

Общее заключение. Диссертационная работа И.В. Шерстова «Лазерные оптико-акустические газоанализаторы на основе резонансного дифференциального оптико-акустического детектора» выполнена на высоком научном уровне и является законченным исследованием, посвященным разработке и исследованию лазерных ОА-газоанализаторов на основе оригинального варианта резонансного дифференциального ОАД (модель ОАД-90) при использовании различных источников излучения. Основные результаты диссертации опубликованы в 68 научных работах, в том числе 25 научных статьях в рецензируемых журналах, включенных ВАК в перечень ведущих периодических изданий.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей важное значение для дальнейшего развития метода лазерной оптико-акустической спектроскопии. Автореферат диссертации, в целом, отражает ее содержание и соответствует требованиям п. 25 Положения.

Таким образом, диссертационная работа Шерстова Игоря Владимировича на тему «Лазерные оптико-акустические газоанализаторы на основе резонансного

дифференциального оптико-акустического детектора» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические и практические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, изложены новые оригинальные научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие методов газоанализа с использованием лазеров.

Работа соответствует заявленной специальности 1.3.6 «Оптика» в области технических наук и в полной мере отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук. Ее автор, Шерстов Игорь Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой «Специальных устройств, инноватики и метрологии»
Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГиТ),
доктор технических наук (специальность 01.04.05 – Оптика), доцент

05 февраля 2026 г.


Айрапетян Валерик Сергеевич,

Подпись В.С. Айрапетяна удостоверяю.
Ученый секретарь Ученого совета СГУГиТ,
кандидат технических наук, доцент

05 февраля 2026 г.




Радченко Людмила Константиновна

Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГУГиТ)
Россия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10
Тел.: +7 (383) 343-39-37, +7 (383) 361-07-31
e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru