

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.005.02 (24.1.028.01)
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «12» марта 2026 г. № 1

О присуждении Шерстову Игорю Владимировичу, гражданину Российской Федерации, степени доктора технических наук.

Диссертация «Лазерные оптико-акустические газоанализаторы на основе резонансного дифференциального оптико-акустического детектора», представленная на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 1.3.6. «Оптика», принята к защите «20» ноября 2025 г., протокол заседания № 3, диссертационным советом 24.1.028.01 (Д 003.005.02) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматки и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН), 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 1, приказ Минобрнауки России 255/нк от «28» марта 2020 г.

Соискатель Шерстов Игорь Владимирович 03.06.1959 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Дистанционное зондирование атмосферы излучением ТЕА СО₂-лазера» по специальности 01.04.05 «Оптика» в диссертационном совете на базе Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН) защитил в 2001 году.

Работает:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН) г. Новосибирск,

старший научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего лабораторией 2.2 «Лаборатория инфракрасных лазерных систем» ИЛФ СО РАН.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН), в Лаборатории инфракрасных лазерных систем.

Официальные оппоненты:

1. Айрапетян Валерик Сергеевич,

доктор технических наук, профессор, заведующий Кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), г. Новосибирск.

2. Степанов Евгений Валерьевич,

доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Отдела молекулярной физики и диагностики Федерального государственного бюджетного учреждения науки федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН), г. Москва.

3. Чесноков Евгений Николаевич,

доктор химических наук, старший научный сотрудник, **заведующий лабораторией «Лазерная фотохимия»** Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук (ИХКГ СО РАН), г. Новосибирск.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), г. Москва

в своём **положительном** отзыве, подписанном:

Барышниковым Николаем Васильевичем - д.т.н., доцент,

заведующий кафедрой «Лазерные и оптико-электронные системы» (РЛ-2)

МГТУ им. Н.Э. Баумана;

Беловым Михаилом Леонидовичем - д.т.н., профессор,

профессор кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы» (РЛ-2)

МГТУ им. Н.Э. Баумана;

и утверждённом

Дрогозовом Павлом Анатольевичем - д.э.н., профессор,

первый проректор МГТУ им. Н.Э. Баумана,

указала, что:

в результате работы решена крупная научная проблема, имеющая большое хозяйственное значение, изложены новые оригинальные научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие и укрепление технологического суверенитета страны.

Полученные результаты и разработанные на их основе приборы могут быть использованы для импортозамещения в аэромобильных системах оперативного мониторинга, на предприятиях энергетики, на предприятиях химической и газовой промышленности, для георазведки, в МЧС, МО и др.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой научной квалификацией и опытом в области оптики, лазерной спектроскопии, газоанализа атмосферы с применением лазерных методов, наличием научных публикаций по указанным направлениям, а также их профессиональной способностью оценить научную и практическую ценность результатов диссертационной работы.

Соискатель имеет 86 опубликованных научных статей, 10 патентов. По теме диссертации опубликовано 68 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 25 работ. Вклад соискателя в публикации составляет 80 % и более. В системе РИНЦ зарегистрировано 73 публикации с количеством цитирований 702. Индекс Хирша этих публикаций, согласно РИНЦ, равен 14. Все представленные в диссертации сведения об опубликованных Шерстовым И.В. работах являются достоверными.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации, в которые автор внес основной или наиболее весомый вклад:

В изданиях, входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus

1. Шерстов И.В., Капитанов В.А., Агеев Б.Г., Карапузиков А.И., Пономарев Ю.Н. Лазерный оптико-акустический течеискатель // Опт. Атм. Океана, **17**, 119–123 (2004).
2. Карапузиков А.И., Шерстов И.В., и др. Лазерные сенсоры-газоанализаторы на основе интеллектуальных волноводных CO₂-лазеров и резонансных оптико-акустических детекторов и их приложения // Опт. Атм. Океана, **20**, 453–458 (2007).
3. Lee C.-M., Vyckov K.V., Karapuzikov A.I., Sherstov I.V., et al. High-sensitivity

laser photoacoustic leak detector // Opt. Engin., **46**, 064302 (2007).

4. Kolker D.B., Sherstov I.V., Karapuzikov A.I., et al. PAD spectrometer based on wide tunable optical parametric oscillator for noninvasive medical diagnostics // Optics and Photonics J., **3**, 43-46 (2013).

5. Karapuzikov A.A., Sherstov I.V., Karapuzikov A.I., Kistenev Y.V., et al. LaserBreeze gas analyzer for noninvasive diagnostics of air exhaled by patients // Physics of Wave Phenomena, **22**, 189-196 (2014).

6. Kostyukova N.Y., Kolker D.B., Zenov K.G., Boyko A.A., Starikova M.K., Sherstov I.V., Karapuzikov A.A. Mercury thiogallate nanosecond optical parametric oscillator continuously tunable from 4.2 to 10.8 μm // Laser Phys. Lett., **12**, 095401 (2015).

7. Шерстов И.В., Васильев В.А., Гончаренко А.М., и др. Метод измерения резонансной частоты оптико-акустического детектора в реальном времени // ПТЭ, № 5, 133-137 (2016).

8. Колкер Д.Б., Шерстов И.В., Костюкова Н.Ю., и др. Комбинированный параметрический генератор света с непрерывной перестройкой длины волны излучения в спектральном диапазоне 2,5-10,8 мкм // Квантовая электроника, **47**, 14-19 (2017).

9. Шерстов И.В., Васильев В.А., Зенов К.Г., и др. Разработка и исследование лазерного оптико-акустического газоанализатора SF₆ // ПТЭ, № 3, 106-113 (2017).

10. Шерстов И.В., Васильев В.А., Карапузиков А.И., и др. Снижение энергопотребления лазерного оптико-акустического газоанализатора SF₆ // ПТЭ, № 4, 117-124 (2018).

11. Колкер Д.Б., Шерстов И.В., Костюкова Н.Ю., Кистенев Ю.В., и др. Перестраиваемый в широком спектральном интервале источник лазерного излучения среднего ИК диапазона для оптико-акустической спектроскопии // Квантовая электроника, **49**, 29-34 (2019).

12. Колкер Д.Б., Шерстов И.В., Костюкова Н.Ю., и др. Широкополосный источник излучения среднего ИК диапазона на основе параметрического генератора света с MgO:PPLN-структурой // Квантовая электроника, **49**, 191-194 (2019).

13. Sherstov I.V., Vasiliev V.A., Karapuzikov A.I., Zenov K.G. Comparative studies of photo-acoustic gas analyzers based on tunable CO₂ lasers with external and intracavity detector arrangement // Infrared Phys. Technol., **105**, 103170 (2020).

14. Sherstov I., Chetvergova L. Experimental researches of acoustical modes of various types of resonant photo-acoustic detectors // Opt. Commun., **462**, 125184 (2020).

15. Шерстов И.В., Колкер Д.Б. Оптико-акустический газоанализатор метана на основе параметрического генератора света с длиной волны 3,3 мкм // Квантовая электроника, **50**, 1063-1067 (2020).
16. Sherstov I.V., Kolker D.B., Boyko A.A., Vasiliev V.A., Pustovalova R.V. Methane photo-acoustic gas analyzer based on 7.7- μm quantum cascade laser // Infrared Phys. Technol., **117**, 103858 (2021).
17. Sherstov I.V., Vasiliev V.A. Highly sensitive laser photo-acoustic SF₆ gas analyzer with 10 decades dynamic range of concentration measurement // Infrared Phys. Technol., **119**, 103922 (2021).
18. Sherstov I.V., Pustovalova R.V. Development of a new system to collect and dry patient exhalation samples for laser photo-acoustic gas analyzer // Lasers in Medical Science, **36**, 33-41 (2021).
19. Колкер Д.Б., Шерстов И.В., Бойко А.А., Костюкова Н.Ю., Ерушин Е.Ю., Павлюк А.В. Квантово-каскадные лазеры среднего ИК-диапазона в компактных оптико-акустических газовых сенсорах // Журнал прикладной спектроскопии, **89**, 580–586 (2022).
20. Sherstov I.V., Kolker D.B., Vasiliev V.A., et al. Laser photo-acoustic methane sensor (7.7 μm) for use at unmanned aerial vehicles // Infrared Phys. Technol., **133**, 104865 (2023).

Патенты по теме диссертации

1. Капитанов В.А., Карапузиков А.И., Пономарев Ю.Н., Шерстов И.В. Оптико-акустический лазерный течеискатель / Патент на полезную модель RU 38228, 27.05.2004. Заявка № 2003134766/20 от 01.12.2003. Опубликовано: 27.05.2004, Бюл. № 15.
2. Капитанов В.А., Карапузиков А.И., Пономарев Ю.Н., Шерстов И.В. Резонансный оптико-акустический детектор и оптико-акустический лазерный газоанализатор / Патент на полезную модель RU 51746 U1, 27.02.2006. Заявка № 2005109649/22 от 04.04.2005. Опубликовано: 27.02.2006, Бюл. № 6.
3. Васильев В.А., Карапузиков А.И., Карапузиков А.А., Шерстов И.В. Лазерный оптико-акустический газоанализатор / Патент на полезную модель RU 90905 U1, 20.01.2010. Заявка № 2009134766/22 от 16.09.2009. Опубликовано: 20.01.2010, Бюл. № 2.
4. Карапузиков А.И., Карапузиков А.А., Шерстов И.В. Оптико-акустический детектор / Патент на полезную модель RU 133306 U1, 10.10.2013. Заявка № 2012150902/28 от 28.11.2012. Опубликовано: 10.10.2013, Бюл. № 28.

5. Карапузиков А.И., Карапузиков А.А., Колкер Д.Б., Шерстов И.В. Генератор лазерного излучения с перестраиваемой длиной волны / Патент на полезную модель RU 133355 U1, 10.10.2013. Заявка № 2012136126/28 от 22.08.2012. Опубликовано: 10.10.2013, Бюл. № 28.
6. Карапузиков А.И., Карапузиков А.А., Колкер Д.Б., Шерстов И.В. Оптико-акустический газоанализатор / Патент на полезную модель RU 139181 U1, 10.04.2014. Заявка № 2013114813/28 от 01.04.2013. Опубликовано: 10.04.2014, Бюл. № 10.
7. Карапузиков А.А., Шерстов И.В. Устройство подготовки газовых проб для анализа / Патент на полезную модель RU 150417 U1, 20.02.2015. Заявка № 2013154662/14 от 18.04.2014. Опубликовано: 20.02.2015, Бюл. № 5.
8. Шерстов И.В. Резонансный дифференциальный оптико-акустический детектор / Патент на полезную модель 199702 U1, 15.09.2020. Заявка № 2020119036 от 02.06.2020. Опубликовано: 15.09.2020, Бюл. № 26.
9. Шерстов И.В. Лазерный оптико-акустический газоанализатор и резонансный дифференциальный оптико-акустический детектор / Патент на изобретение 2748054 С1, 19.05.2021. Заявка № 2020119016 от 02.06.2020. Опубликовано: 19.05.2021, Бюл. № 14.
10. Шерстов И.В. Резонансный дифференциальный оптико-акустический детектор / Патент на изобретение 2761906 С1, 14.12.2021. Заявка № 2020143429 от 25.12.2020. Опубликовано: 14.12.2021, Бюл. № 35.

Акты о практическом применении полученных в диссертации результатов:

1. Акт о внедрении результатов докторской диссертации Шерстова И.В. на предприятии ООО «РС-Изол» (Московская обл., г. Наро-Фоминск) при производстве электроизоляционной продукции, применяемой в электроэнергетике и электротехнической промышленности, а именно: полимерные газонаполненные покрышки для комплектации высоковольтных аппаратов на классы напряжений от 35 кВ до 220 кВ включительно.
2. Акт о внедрении результатов докторской диссертации Шерстова И.В. на предприятии АО НИИ «ОКТАВА» (г. Новосибирск) в ходе работ по ОКР № 01-2037 «Разработка газоанализатора для регистрации состава выдыхаемого воздуха методом оптико-акустической спектроскопии» в рамках выполнения работ по Госконтракту от 05.08.2011 № 16.522.11.2001, технический руководитель – Шерстов И.В.
3. Акт о внедрении результатов докторской диссертации Шерстова И.В. в учебный

процесс ФГБОВО «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ, г. Новосибирск) на физико-техническом факультете (ФТФ) при обучении студентов 3-го курса бакалавриата по дисциплине «Принципы работы лазерных систем», где Шерстов И.В. преподает в должности доцента.

4. Акт о внедрении результатов докторской диссертации Шерстова И.В. в ФГАОУВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ, г. Новосибирск) при выполнении гранта РФФИ № 17-72-30006-П «Нелинейные технологии для оптических коммуникаций и лазерных приложений».

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **положительный** отзыв на автореферат **Кругикова Владимира Алексеевича** (д.ф.-м.н., г.н.с. Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН), г. Томск)

и **Петрова Дмитрия Витальевича** (к.т.н., в.н.с. ИМКЭС СО РАН, г. Томск) содержит следующие замечания:

- Ряд указанных методов исследований является, скорее, задачами. Например, «патентный поиск», «реализация устройств», «исследование измерительных установок», «оценка погрешностей».

- В утверждениях 1 и 2 раздела «Новизна полученных результатов» не хватает слов «Установлено, что ...»

- Осталось непонятным, каким образом и в соответствии с каким критерием были определены указанные на рис. 6 автореферата концентрации элегаза 640 ppt и 140 ppt. Проводились ли в данном случае измерения с помощью референсного (поверенного) устройства?

- На рис. 10.6 автореферата приведен зарегистрированный спектр поглощения «сложной многокомпонентной газовой смеси». Для оценки возможностей разработанного устройства стоило бы привести информацию о ее количественном составе.

2. **положительный** отзыв на автореферат **Ковалёва Александра Анатольевича** (к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории 31 ИФП СО РАН, г. Новосибирск) содержит несколько несущественных для общего положительного впечатления от диссертации замечаний:

- Фоновый сигнал исходит не только от окон кюветы, значительная его часть образуется собственно её стенками из-за негауссовости лазерного пучка (проявляется в основном в крыльях распределения).

- Для CO₂ лазера с дифракционной решеткой в автоколлимационном режиме у торца разрядной трубки сложно выдерживать настройку на фиксированную линию лазера из-за уходов длины резонатора.
- Не указаны марки используемых микрофонов, если это чувствительные электретные, то нужна постоянная калибровка. В В&К использованы специальные стабильные конденсаторные микрофоны.
- В «ЛазерБриз» и «Сенсоре метана» хотелось бы увидеть хотя бы оценку мощности пучков, поступающих в кювету.

3. **положительный** отзыв на автореферат **Ватника Сергея Марковича** (д.ф.-м.н., руководитель Лаборатории метрологии оптических материалов ООО «ВПП Лазеруан», г. Фрязино) замечаний принципиального характера по содержанию автореферата нет:

- Из второстепенных замечаний можно отметить не вполне корректную запись формулы (1) на стр. 16 автореферата, где оптическая толщина газонаполненной ячейки складывается с безразмерной величиной, т.е. происходит сложение величин с разными размерностями.

4. **положительный** отзыв на автореферат **Эпова Михаила Ивановича** (д.т.н., академик РАН, Научный руководитель Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск) не содержит замечаний.

5. **положительный** отзыв на автореферат **Фирсова Константина Михайловича** (д.ф.-м.н., профессор кафедры «Радиофизика» ФГАОУВО «Волгоградский государственный университет», г. Волгоград) содержит следующее замечание:

- При газоанализе многокомпонентных смесей (газоанализ выдыхаемого воздуха) необходима априорная информация о составе этой смеси. Эта задача в общем случае может приводить к плохо обусловленным системам уравнений и требуется регуляризация на основе априорной информации. К сожалению, в автореферате этот вопрос не обсуждается.

6. **положительный** отзыв на автореферат **Пономарева Александра Николаевича** (д.ф.-м.н., заведующий лабораторией молекулярного имиджинга и фотоакустики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е. Панина Сибирского

отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), г. Томск) содержит следующее замечание:

- В тексте автореферата встречаются жаргонные выражения, например «прокачка воздуха» (следовало бы «проток воздуха») в подписи к рис. 5 (стр. 17), или не вполне научные формулировки, такие как «...превышает чувствительность лучших коммерческих течеискателей... в 1000 раз» (стр. 9), которые уместнее заменить на сравнение с конкретными численными значениями чувствительности известных аналогов.

- На стр. 24 в подписи к рисунку 13 приведено обозначение «ГУК — головной управляющий контроллер» — пример неудачной кальки с английского (master controller). В русской технической терминологии устоялось название «контроллер верхнего уровня».

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **Установлено**, что в резонансном дифференциальном оптико-акустическом детекторе (ОАД) на низшей резонансной частоте формируется стоячая звуковая волна (типа А) с кольцевой конфигурацией распространения колебаний давления через оба акустических резонатора, которая не достигает фланцев (окон) ОАД, что значительно снижает чувствительность данного детектора к поглощению в окнах.

- **Установлено**, что в резонансном продольном оптико-акустическом детекторе (ОАД) в резонансе формируются только продольные стоячие акустические волны (типа С), которые распространяются по всей длине детектора, на фланцах ОАД расположены пучности колебаний давления, что существенно повышает чувствительность данного детектора к поглощению в окнах.

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

- **Предложены** новые оптические схемы построения лазерного ОА-газоанализатора с использованием отпаянных газонаполненных ОА-ячеек.

- **Доказана** возможность расширения динамического диапазона измерения концентрации SF₆ от 100 ppt до 100%, реализованная в одном приборе.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **Разработан** оригинальный вариант резонансного дифференциального ОАД с малой длиной буферных полостей (модель ОАД-90), который благодаря особой геометрии имеет минимальную чувствительность к поглощению в окнах, нашедший широкое применение в различных научных лабораториях в мире для построения высокочувствительных лазерных оптико-акустических газоанализаторов.

- **Разработан** метод оперативного измерения низшей резонансной частоты ОАД в условиях изменения температуры и состава газовых смесей, обеспечивающий постоянство отклика измерительного детектора и снижающий погрешность измерения концентрации исследуемой газовой примеси.

- **Разработаны** новые оптические схемы построения лазерного ОА-газоанализатора, где используется отпаянная газонаполненная ОА-ячейка вместо измерителя мощности лазерного пучка, что способствует снижению погрешности измерения концентрации исследуемой газовой примеси на порядок в условиях нестабильности длины волны излучения лазера.

- **Разработан** переносной лазерный ОА-течеискатель SF₆ на основе малогабаритного волоночного CO₂ лазера с ВЧ возбуждением и резонансного дифференциального ОАД (модель ОАД-90) с пороговой чувствительностью ~100 ppt, которая как минимум многократно превышает чувствительность коммерческих теcheискателей SF₆. Разработанный лазерный ОА-теcheискатель элегаза «SF₆ LaserGasTest» зарегистрирован в Государственном реестре средств измерения РФ.

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

- **Разработан** аэромобильный ОА-газоанализатор метана на основе квантово-каскадного лазера ($\lambda \approx 7,7$ мкм).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность полученных результатов диссертационной работы подтверждается хорошим совпадением теоретических расчетов с результатами экспериментальных измерений, повторяемостью результатов, снижением зависимости точности измерений исследуемых ОА-газоанализаторов от вариации режима работы лазеров в пределах допустимого отклонения от оптимального режима (теоретически и экспериментально обоснованного). Основные результаты диссертационной работы доложены на 24 российских и международных

конференциях. Разработанный по итогам проведенных исследований при определяющем участии соискателя высокочувствительный лазерный ОА-течеискатель SF₆ («KARAT» / «SF₆ LaserGasTest») более 10 лет производится мелкими сериями, официально зарегистрирован в Государственном реестре средств измерения РФ. Другие разработанные образцы лазерных ОА-газоанализаторов также прошли проверку в различных областях науки и техники, в т. ч. в медицине.

Личный вклад соискателя

состоит в определяющей роли при постановке задач исследования, выборе направлений исследований; разработке новых оптических схем построения лазерных ОА-газоанализаторов с использованием отпаянных газонаполненных ОА-ячеек; разработке алгоритмов вычисления измеряемой концентрации исследуемого газа; разработке резонансного дифференциального ОАД с малой длиной буферных полостей (модель ОАД-90); расширении динамического диапазона измерения концентрации SF₆; разработке новой системы сбора и осушения проб выдоха пациентов; разработке и исследовании лазерного ОА-сенсора метана для работы на борту БПЛА. Все выносимые на защиту положения и экспериментальные результаты получены автором лично либо при его непосредственном участии или под его руководством.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

«...Третье защищаемое положение, в той форме, как оно сформулировано, может быть воспринято как утверждение о нарушении соотношения "неопределённость частоты - длительность её измерения"...».

Соискатель согласился с замечаниями и дал пояснения.

На заседании 12 марта 2026 года диссертационный совет принял решение:

за новые научно-обоснованные методы построения переносных высокочувствительных лазерных оптико-акустических газоанализаторов и на основании решения автором ряда актуальных научных проблем, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, присвоить **Шерстову Игорю Владимировичу** учёную степень доктора технических наук по специальности 1.3.6 «Оптика».

