

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и инновациям

Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,

доктор технических наук

Дьяченко А. Н.



«17» октября 2014 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **Каширского Данилы Евгеньевича «*Определение термодинамических характеристик неоднородных газовых сред оптическими методами*»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Диссертационная работа Каширского Данилы Евгеньевича «Определение термодинамических характеристик неоднородных газовых сред оптическими методами» посвящена разработке методики одновременного определения температуры и парциальных давлений компонентов пространственно неоднородной высокотемпературной газовой среды.

**Актуальность темы** диссертационной работы определяется недостаточной изученностью проблемы определения термодинамических параметров высокотемпературных неоднородных газовых сред. Направление работы соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (Указ Президента РФ от 07.07.2011 № 899). Таким образом, актуальность темы, избранной для диссертационных исследований, сомнений не вызывает.

**Диссертационная работа** состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы. Весь материал изложен на 147 страницах, содержит 62 рисунка, 29 таблиц и библиографический список из 196 наименований.

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования. Определены научные положения, выносимые на защиту. Кратко сформулирована новизна, научная и практическая ценность полученных результатов. Отмечен личный вклад автора, приведена информация об апробации результатов работы.

В первой главе диссертации проведено краткое рассмотрение существующих контактных и бесконтактных методов диагностики термодинамически неоднородных газовых сред. Дана формулировка прямых и обратных задач оптики газовых сред. На основе обзора литературы, освещающего существующие модели описания спектральных характеристик газовых сред и программные комплексы для моделирования пропускания и радиации газовых смесей, определено, что наиболее достоверные результаты по прямой задаче оптики газовых сред дает метод line-by-line вычисления спектральных характеристик нагретых газов, основанный на использовании баз данных параметров спектральных линий поглощения газов. Подчеркнуто, что вычисления проводились в основном для случая нормальных температур, в то время как моделирование высокотемпературных спектров газовых сред развито недостаточно. Рассмотрено современное состояние оптических дистанционных методов исследования характеристик газовых сред. В случае активной лазерной дистанционной диагностики подчеркнута необходимость знания точных значений спектрального положения и ширины линий излучения лазеров. Отмечено, что количественные модели решения обратных задач оптики газовых сред разработаны недостаточно и необходимо создание новых алгоритмов обращения результатов дистанционных измерений с целью получения количественных данных о термодинамических параметрах высокотемпературных неоднородных газовых сред.

Вторая глава посвящена описанию физико-математической модели распространения излучения в газовой-аэрозольных средах и программного обеспечения «TRAVA», реализующих модель. Представление пространственно-неоднородных как излучающих, так и поглощающих сред в виде суммы слоев с конкретными температурой и концентрациями компонентов позволяет учитывать динамику сред и приводит к конкретным численным значениям. Приводится блок-схема, архитектура и интерфейс программного комплекса. Следует отметить широкие функциональные возможности разработанного программного комплекса. На примере тестовых расчетов спектральных характеристик показаны возможности программного обеспечения. Представленные результаты сравнения экспериментальных и теоретических данных свидетельствуют о физической адекватности предлагаемых математических моделей. В результате сравнения «TRAVA» с Интернет-ресурсом «SPECTRA» выявлен ряд особенностей «SPECTRA», которые необходимо учитывать при проведении моделирования для получения корректных результатов.

Третья глава посвящена рассмотрению внешних параметров лазерного излучения. Определены значения центров линий излучения лазеров на двухатомных молекулах в инфракрасном диапазоне на примере излучения СО-лазера. Показано влияние на измеряемые коэффициенты поглощения и функции пропускания газов значения спектральной ширины лазерной линии излучения. Предложен способ определения спектральной ширины лазерной линии по измеренной функции пропускания излучения лазера калиброванным газовым объемом (фиксированные концентрация и температура) на основе предварительно рассчитанной теоретической зависимости функции пропускания от спектральной ширины линии излучения лазера.

В четвертой главе приведено описание методики одновременного определения температуры и парциальных давлений составляющих газовых сред со значительным градиентом значений искомых параметров. Показана возможность применения методики в случае активных и пассивных измерений. Методика применена для определения температуры и парциальных давлений водяного пара и углекислого газа из

экспериментальных значений функции пропускания факела, образованного в результате сжигания этанола в условиях приземного слоя атмосферы. Показано, что рассчитанные теоретические спектральные зависимости функции пропускания с найденными значениями температуры и парциальных давлений водяного пара и углекислого газа качественно хорошо согласуются с экспериментальными данными, а определенные значения температуры не противоречат результатам измерений термопарой.

**Научная новизна** работы заключается в: использовании набора энергий колебательно-вращательных уровней молекулы CO, рассчитанных через эффективные вращательную и центробежные константы, для определения констант Данхема; разработке методики определения спектральной ширины лазерной линии излучения, основанной на использовании зависимости ширины лазерной линии от функции пропускания лазерного излучения газовым объемом; предложении описания полиномом зависимостей спектральных характеристик пропускания (излучения) компонентов газовых сред от парциального давления и температуры; разработке методики определения численных значений термодинамических параметров газовой среды.

**Практическая значимость диссертации** заключается в создании универсальной методики одновременного определения температуры и парциальных давлений компонентов газовых сред, которая применима в случае пассивных и активных дистанционных измерений, широкополосных и квазимонохроматических спектральных интервалов. Предложенный подход расчета центров линий генерации лазеров на двухатомных молекулах и методика определения спектральной ширины лазерной линии позволяет повысить точность обработки результатов оптико-физических измерений. Разработанное программное обеспечение является инструментом для моделирования спектральных характеристик газовых сред и способствует разработке новых методов и средств дистанционной диагностики газовых смесей.

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций** обеспечена корректностью постановки задач и их строгой физической обоснованностью, использованием хорошо отработанных методов математического моделирования, тестирование предложенных методик по замкнутой схеме, когда результаты расчетов спектральных характеристик по прямой задаче служат исходными данными в обратной задаче, согласованием с существующими расчетными и экспериментальными результатами.

Материал диссертационной работы и публикации автора в основном посвящены вопросам описания спектральных характеристик газовых сред, моделирования переноса излучения, поиска способов решения задачи об определении температуры и концентраций газовых компонентов из дистанционных измерений, что соответствует областям исследования «Молекулярная оптика. Дисперсия, поглощение, рассеяние света», «Квантовая природа света», «Люминесценция. Излучение и поглощение света изолированными и взаимодействующими атомами и молекулами. Физические основы методов и техники спектроскопии. Лазерная спектроскопия», поэтому представление ее к защите по специальности 01.04.05 – Оптика обоснованно.

**Апробация работы.** Материал диссертационной работы достаточно полно изложен в 25 публикациях, 15 из которых размещены в журналах, входящих в перечень ВАК, 6 в



изданиях, индексируемых Web of Science. Материалы диссертации широко обсуждались на всероссийских и международных научных конференциях.

**Автореферат** и имеющиеся публикации достаточно полно отражают основные результаты и выводы диссертации.

#### **Замечания по работе.**

1. Не очевидны преимущества предложенного подхода к определению констант Данхема для расчета энергий уровней двухатомных молекул в высоковозбужденных колебательно-вращательных состояниях, поскольку шести значений энергий уровней угарного газа приведенных в таблице 3.5 недостаточно для уверенного положительного заключения об этом.

2. Основным недостатком предложенного автором метода определения термодинамических параметров сред является нахождение средних по трассе величин. Более актуальным является построение пространственных распределений температуры и концентраций (профилей распределения по оптическому пути), но автором этот вопрос в диссертации не затронут.

3. В параграфе 4.2.1 представлены зависимости «функций пропускания от температуры и парциального давления...». Сделано заключение о том, что изменение значения «функции пропускания составляет не более 0.3». Совершенно непонятно, на каком основании такой вывод был сделан.

4. В диссертации часто, почти на каждой странице, используются термины «функция пропускания», «функция излучения». Под этим понимается спектр пропускания, излучения. Непонятно, зачем были введены эти термины. Ведь спектр – название функции. Почему не просто: спектр пропускания, излучения?

5. Диссертация написана грамотно, четко, но тем не менее в диссертации и автореферате встречаются неточности, опечатки. Например, на стр.56 в подписях к рис.2.17 написано: в спектральной области 2,7, 4,6 мкм. Что за область точки? На стр. 63 на рис.2.25 ось ординат обозначена: Экспериментальный спектр, абс. Ед. Название оси странное, а что такое абс. Ед. с приведенными цифрами – совершенно непонятно. Для расчетов выбирались значения давлений 2.533.....2.027 тысяч Па. Почему выбирались такие странные значения?

6. Следует отметить, что предложенные методики работоспособны только в комплекте с созданным программным обеспечением «TRAVA», что требует организации доступа к ней. О том, как это сделано, в диссертации не сказано.

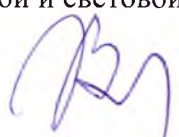
Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа Каширского Данилы Евгеньевича «Определение термодинамических характеристик неоднородных газовых сред оптическими методами», является законченной научно-квалификационной работой, выполненной под руководством доктора физико-математических наук, профессора Войцеховской О.К., содержащей новое решение актуальной научной задачи – дистанционного определения термодинамических параметров пространственно-неоднородных газовых сред с большими градиентами температур и концентраций, имеющей важное значение для диагностики источников загрязнения таких сред (двигатели, заводы, вулканы и др.).

В целом считаем, что диссертация Каширского Данилы Евгеньевича в полной мере соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней» по объему и качеству представленного материала, научной новизне и практической значимости, объему апробации результатов. Диссертант заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Диссертационная работа Каширского Д.Е. обсуждена на заседании кафедры лазерной и световой техники 13 октября 2014 г. Протокол № 179.

Заведующий кафедрой лазерной и световой техники  
 Яковлев А.Н.

Профессор кафедры лазерной и световой техники  
 Лисицын В.М.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Ленина пр., 30, Томск, 634050

Яковлев Алексей Николаевич, доцент, кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой лазерной и световой техники Национального исследовательского Томского политехнического университета

Тел. (3822) 423928

E-mail: [Yakovlev\\_AN@tpu.ru](mailto:Yakovlev_AN@tpu.ru)

Лисицын Виктор Михайлович, Заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры лазерной и световой техники Национального исследовательского Томского политехнического университета, доктор физико-математических наук, профессор

Тел. (3822) 419831

E-mail: [lisitsyn@tpu.ru](mailto:lisitsyn@tpu.ru)