

Детектирование локального объема паров химических соединений на протяженной атмосферной трассе: модельный эксперимент

Б.Г. Агеев, Г.Г. Матвиенко, Ю.Н. Пономарев, И.С. Тырышкин, А.Х. Махир*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 2.02.2010 г.

Выполнены лабораторные эксперименты по детектированию паров химических соединений (ацетона и перекиси водорода), локализованных на малом участке длиной 0,62 м модельной атмосферной трассы протяженностью 220 м. Проведено сравнение полученных экспериментальных и расчетных данных. Обсуждаются возможные области применений созданного экспериментального стенда.

Ключевые слова: атмосфера, спектрофотометрия, лазер, детектирование; atmosphere, spectrophotometry, laser, detection.

Введение

Математическое моделирование работы многоволновых трассовых газоанализаторов не может полностью учесть особенности режима диагностики малоразмерных, локализованных в определенном месте протяженной атмосферной трассы областей концентрации малых газовых примесей, особенно когда на трассе могут существенно меняться температура, давление воздуха и концентрации основных поглощающих газов. Такова, например, ситуация при диагностике паров труднолетучих соединений или продуктов разложения таких соединений в жидком или твердом состояниях, находящихся на небольшом участке поверхности.

В настоящей статье представлены результаты лабораторного эксперимента по исследованию возможности детектирования паров веществ, длина области локализации которых много меньше длины трассы, а оптическая толщина слоя паров также много меньше оптической толщины воздушного слоя трассы. При этом ослабление излучения по трассе в целом тоже существенно меньше единицы. В экспериментах варьировались влажность по трассе и температура области, в которой создавались пары испытываемых веществ. В качестве их были выбраны ацетон и перекись водорода, так как их пары являются газовыми компонентами, сопутствующими производству взрывчатых веществ.

* Борис Григорьевич Агеев (ageev@asd.iao.ru); Геннадий Григорьевич Матвиенко (magg@iao.ru); Юрий Николаевич Пономарев (uiron@iao.ru); Иван Семенович Тырышкин; Абдул Хак Махир.

Экспериментальная установка и методика измерений

Схема эксперимента показана на рис. 1. Установка собрана на платформе многоходовой атмосферной кюветы КА-1 с базовой длиной 110 м, входящей в состав комплекса модельных установок ИОА СО РАН [1, 2].

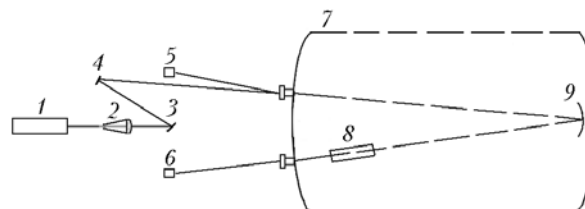


Рис. 1. Оптическая схема эксперимента: 1 – лазер; 2 – коллиматор; 3, 4, 9 – поворотные зеркала; 5 – опорный фотоприемник; 6 – сигнальный фотоприемник; 7 – атмосферная кювета; 8 – абсорбционная кювета

Источником излучения для детектирования паров служил воловоодный CO_2 -лазер с воздушным охлаждением, разработанный и изготовленный в Институте лазерной физики СО РАН. Лазер работал в свободном режиме генерации без селекции линий излучения. В этом случае при стабильном режиме охлаждения преимущественно генерировалась линия излучения $9P(20)$ (9,55 мкм), сильно поглощаемая парами ацетона [3]. Излучение лазера модулировалось по амплитуде с частотой 2 кГц при скважности 10. Средняя мощность излучения составляла 700 мВт.

В кювете КА-1 имитировалась атмосферная трасса с контролируемыми параметрами. Для контроля влажности и температуры воздуха внутри кюветы применялся измеритель влажности и температуры газов ИВТМ-7 МК-С, предназначенный для непрерывного (круглосуточного) измерения этих величин. Основная погрешность измерения влажности $\pm 2\%$, температуры $\pm 0,2$ °С. Измерения проведены при двукратном прохождении излучения через кювету, т.е. при длине трассы ~ 220 м. Для формирования параллельного пучка излучение лазера пропусклось на входе в кювету через коллиматор.

Для моделирования поглощающего слоя использовалась малая абсорбционная кювета, представляющая собой металлическую трубу $\varnothing 68 \times 620$ мм. В торцах трубы установлены оптические окна из KRS-5 (бромистый таллий – йодистый таллий). Кювета обеспечивала герметичность внутреннего объема, имела водяную рубашку, что позволяло регулировать температуру его внутреннего объема с помощью термостата. При проведении измерений абсорбционная кювета с поглощающей средой размещалась внутри КА-1, на пути пучка, в конце трассы. На расстоянии 4 м от абсорбционной кюветы устанавливался датчик измерителя влажности и температуры.

Пропускание слоя исследуемой среды измерялось спектрофотометрическим методом и определялось по формуле

$$T = (U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}) / (U_{0\text{вых}}/U_{0\text{вх}}),$$

где U – сигналы фотоприемников; символы «вых» и «вх» соответствуют значениям U на выходе из кюветы КА-1 и на входе в нее; символ «0» – значения U без исследуемой среды. Пирозлектрические приемники МГ-30, предназначенные для регистрации модулированного излучения в диапазоне длин волн от 2 до 20 мкм, использованы для измерения уровня излучения W на входе и выходе кюветы КА-1 (рис. 2).

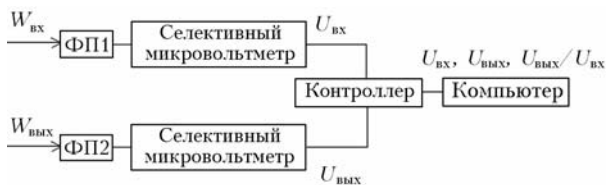


Рис. 2. Блок-схема регистрации сигналов фотоприемников

Основные функции контроллера, используемого для регистрации и первичной обработки сигналов фотоприемников, состояли в оцифровке сигналов, усреднении их величин и определении отношения $U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$. Единичное измерение сигнала получалось программным усреднением 100 отсчетов. При измерении пропускания, соответствующего конкретному условию эксперимента, регистрировались 192 значения отношения $(U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}})$, которые записывались в памяти компьютера в виде txt-файлов и использовались для дальнейшего ана-

лиза. Каждая запись проводилась с 10-кратной повторяемостью. Таким образом, общее количество отсчетов, по которым происходило усреднение, составляло $100 \times 192 \times 10 = 1,92 \cdot 10^5$.

Условия измерений и результаты

Экспериментальные условия измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условия эксперимента	
Поглощающая среда в замкнутой кювете (температура)	Трасса (температура, °С/влажность, %)
Пары H_2O_2 (20 и 25 °С)	20/50
Пары C_3H_6O (20 и 25 °С)	20/50
	20/70

В герметизированной кювете КА-1 температура и влажность воздуха (20 °С и 50% соответственно) контролировались в течение всей серии измерений.

Повышение влажности воздуха на трассе, при реализации одного из пунктов программы, осуществлялось увлажнением внутренней стенки кюветы КА-1 несколькими порциями воды до достижения необходимого уровня 70%. После проведения измерений кювета проветривалась в течение нескольких часов до возвращения уровня влажности к первоначальному значению 50%.

Время нагрева образцов в малой кювете составляло 30 мин после установления заданной температуры.

Для приготовления исследуемых газовых сред применяли следующие материалы:

1. Раствор перекиси водорода (H_2O_2). Изготовитель – ОАО «Самармедпром», г. Чапаевск, Россия.
2. Химически чистый ацетон C_3H_6O . Изготовитель – VEB Laborchemie Apolda, Germany.

Для измерений пропускания лазерного излучения использовались следующие образцы:

1. Пары H_2O_2 . Измерения проведены для насыщенных паров в смеси с воздухом при общем давлении 750 мм рт. ст. и содержании паров 2%.
2. Пары ацетона. Измерения выполнены для смеси пары + воздух при общем давлении 750 мм рт.ст. и содержании ацетона 4%.

Газовые смеси создавались испарением до необходимого парциального давления соответствующей жидкости в предварительно вакуумизированную абсорбционную кювету, после чего в нее до атмосферного давления добавлялся комнатный воздух. Запуск воздуха производился через фильтр (беззольный, синяя лента, ГОСТ 12026-76).

Табл. 2 содержит итоговые результаты эксперимента. Полученные экспериментальные данные удовлетворительно согласуются с расчетами, для которых имеются необходимые литературные данные. Есть различия для H_2O_2 , которые, возможно, обусловлены использованием для приготовления паров медицинского водного раствора перекиси водорода.

Т а б л и ц а 2

Состав газовой смеси	Парциальное давление, мм рт.ст.	Измеренное пропускание	Расчетное пропускание	Температура, °С
Пары H ₂ O ₂ + воздух	14,7 ± 0,1	0,852 ± 0,008	0,995	20
		0,786 ± 0,025	0,995	25
		0,725 ± 0,003	0,715	20
Пары C ₃ H ₆ O + воздух	30,0 ± 0,1	0,727 ± 0,007	Расчет не проводился из-за отсутствия данных по зависимости концентрации от температуры	25
		0,725 ± 0,007	То же	25; влажность на трассе 70%

Эти растворы могут содержать неконтролируемое количество стабилизирующих добавок, например пирофосфат натрия, ортофосфорную кислоту и т.д. [4], из-за чего возможно искажение значения коэффициента поглощения исследуемых паров по сравнению с чистыми парами перекиси водорода, для которых проведены расчетные оценки.

Заключение

Итоги описанных экспериментов продемонстрировали возможности проведения модельных экспериментов по детектированию на протяженной трассе паров веществ, локализованных на малом участке трассы: отношение длины участка с парами детектируемых веществ к полной длине трассы равно 0,003. Такая пропорция типична для соотношения размера области паров труднолетучих соединений на километровой трассе в открытой атмосфере. Комплектование разработанной установки лазерными источниками УФ- или видимого диапазона позволит расширить список детектируемых паров и таким образом разнообразить круг решаемых с ее помощью задач.

Данный стенд может входить в состав Центра коллективного пользования по спектроскопии, что позволит в контролируемых условиях проводить испытания оптических систем, разрабатываемых в ИОА СО РАН и институтах Сибирского отделения РАН для работы на атмосферных трассах.

Авторы выражают благодарность А.П. Ростову за разработку и изготовление контроллера.

1. *Спектрофотометрический* комплекс на основе многоходовых кювет с базой 110 и 30 м. URL: <http://www.iao.ru/ru/resources/>
2. Пономарев Ю.Н., Тырышкин И.С. Спектрофотометрический комплекс для измерения поглощения лазерного излучения ИК-, видимого и УФ-диапазонов молекулярными газами // Оптика атмосф. и океана. 1993. Т. 6. № 4. С. 360–368.
3. Василенко Л.С., Дюба Н.М., Ковалев А.А. Оптико-акустические спектры поглощения этанола, ацетона и бензина // Ж. прикл. спектроскопии. 1988. Т. 49. № 4. С. 664–667.
4. *Вредные вещества в промышленности* / Под ред. Н.В. Лазарева, И.Д. Гадаскиной. Л.: Химия, 1977. Т. 3. 608 с.

B.G. Ageev, G.G. Matvienko, Yu.N. Ponomarev, I.S. Tyryshkin, A.H. Mahir. Detection of local volume of chemical compounds on an elongated atmospheric path: model experiment.

Laboratory experiments on detection of chemical compounds (acetone and hydrogen peroxide), localized in a small region of 0.62 m in length on a model atmospheric path of 220 m have been performed. The experimental and calculated data have been compared. Possible fields of application of the built experimental bench are discussed.