

УДК 621.378:551.508

Определение концентраций газовых компонент многоспектрального лазерного зондирования

03, март 2012

Бусаргин А.Ю.

*Студент,
кафедра «Лазерные и оптико-электронные системы»*

*Научный руководитель: Еременко Л.Н.,
доцент кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
Abusargin@ya.ru

Важнейшей проблемой современности является охрана окружающей среды. Под влиянием различных факторов окружающая среда претерпевает изменения. Вместе с различными природными явлениями (извержения вулканов, лесные пожары, эрозия почв и т. д.) в процессе воздействия на окружающую среду все большее значение приобретает деятельность человека. Стремительное развитие промышленности, энергетики, сельского хозяйства и транспорта привело к возрастающему антропогенному воздействию на окружающую среду. В индустриально развитых районах многих стран содержание вредных веществ в атмосфере иногда превышает предельно допустимые нормы.

Необходимым условием для понимания различных процессов загрязнения атмосферного воздуха является чувствительное и избирательное детектирование многочисленных газовых компонентов. Следовательно, необходима разработка новых физических и химических методов в дополнение к обычным методам.

где: $y(\lambda_i)$ – приведенный измеряемый сигнал на длине волны λ_i ; $k_a(\lambda_i)$ – коэффициент неселективного поглощения на длине волны λ_i ; $K_j(\lambda_i)$ – коэффициент поглощения j -ой газовой компоненты смеси на длине волны λ_i ; n_j – концентрация j -ой газовой компоненты смеси; M – число спектральных каналов; K – полное число газовых компонент в анализируемой смеси.

В идеальном случае отсутствия шума измерения из решения системы линейных алгебраических уравнений лазерного газоанализа (1) находятся точные значения концентраций компонент газовой смеси. Погрешности измерения приводит к ошибкам восстановления концентраций газов.

Провести количественное исследование влияния погрешностей измерения, числа газовых компонент в смеси, качественного состава смеси и т.п. на результаты восстановления концентраций газов позволяет математическое моделирование (численный эксперимент) [1-4].

Одной из проблем, возникающих при использовании лазерных методов для анализа многокомпонентных смесей, является необходимость применения специальных алгоритмов решения обратной задачи (определения концентраций газов смеси из многоспектральных лазерных измерений), основанных на методах решения некорректных математических задач.

Существующие методы многокомпонентного газоанализа имеют недостатки. Метод регуляризации Тихонова при решении системы линейных алгебраических уравнений лазерного газоанализа (1) для малокомпонентной (с числом компонент меньше 5) смеси дает погрешности определения концентраций газов, как правило, большие, чем соответствующие погрешности при использовании стандартных методов решения системы линейных алгебраических уравнений. Метод поиска квазирешений свободен от этого недостатка. Однако он требует большого объема вычислений, даже при таком эффективном методе подбора решений как генетический метод. Метод, основанный на построении байесовской оценки решения, требует очень большой априорной информации – данных о средних значениях концентраций измеряемых газовых компонент и их стандартных среднеквадратических отклонениях [5].

В работе описывается использования нового перспективного метода – проекционного метода в задаче многокомпонентного лазерного газоанализа, который во многом свободен от описанных выше недостатков.

Для проверки работоспособности проекционного метода (проекционной схемы Танабы-Хуанга [6]) в задаче многокомпонентного лазерного газоанализа было проведено математическое моделирование.

Математическое моделирование проводилось по замкнутой схеме. По заданным значениям концентраций газов и коэффициентов поглощения рассчитывались приведенные измеряемые сигналы – правые части системы уравнений (1).

Полученные значения искажались случайными числами для имитации шума измерения. Шум моделировался случайным процессом с нормальным законом распределения, нулевым средним значением и заданным среднеквадратическим значением шума равным 1%. Полученные случайные значения сигналов использовались для определения концентраций газов по «данным измерений». Математическое моделирование проводилось для газовых смесей с числом компонент от трех до шести. При математическом моделировании определялись среднеквадратические ошибки по 1000 реализациям шума измерения и использовалось 20 циклов итераций для проекционного метода.

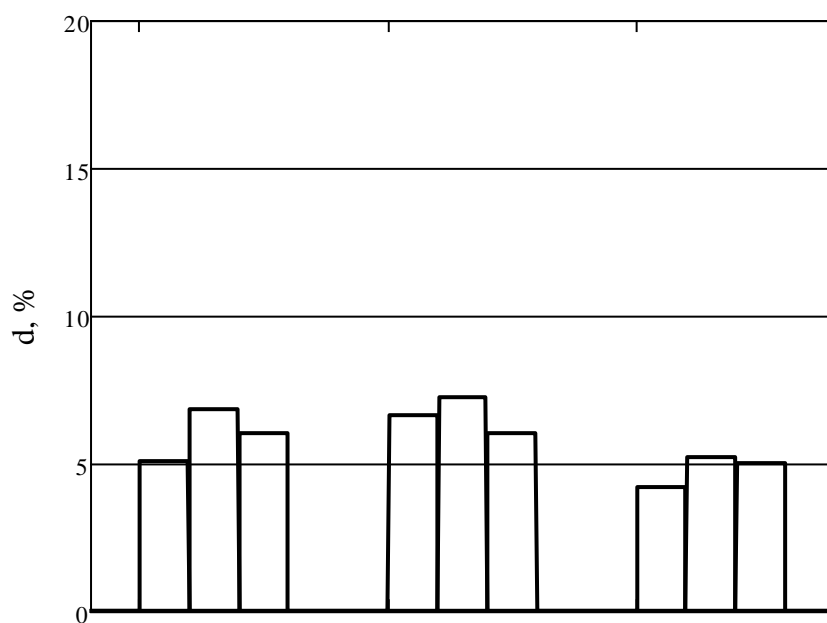


Рис. 2. Трехкомпонентная смесь: этилен, хлоропрен, гидразин

Результаты представлены на рисунках 2-4. На рисунке 2 – ошибки восстановления газовых концентраций трехкомпонентной смеси стандартным методом (решение матричного уравнения с использованием обратной матрицы) в процентах. На рисунке 3 – ошибки восстановления газовых концентраций четырехкомпонентной смеси стандартным методом в процентах. На рисунке 4 – ошибки восстановления газовых концентраций шестикомпонентной смеси в процентах. На рисунках 2-4 показаны результаты восстановления концентраций газов тремя методами (на графике по порядку): стандартным методом, проекционным методом с нулевыми начальными условиями, проекционным методом со значениями концентраций начальных условий, отличающихся от исходных (заданных при математическом моделировании) концентраций на 10%.

Из результатов хорошо видно, что как стандартный, так и проекционный методы позволяют с высокой точностью определять концентрации газов в малокомпонентных смесях.

Для многокомпонентных смесей в условиях шумов измерения (когда прямое решение матричного уравнения может приводить к большим ошибкам определения концентраций), проекционный метод позволяет с приемлемой точностью определять концентрации газов только при использовании априорной информации (когда за начальные приближения для концентраций газов смеси принимаются средние значения концентраций газов или величины несильно отличающиеся от средних значений концентраций газов). Если за начальные приближения для концентраций принимать нулевые концентрации газов, то проекционный метод может приводить к большим ошибкам, как и стандартный метод решения матричного уравнения.

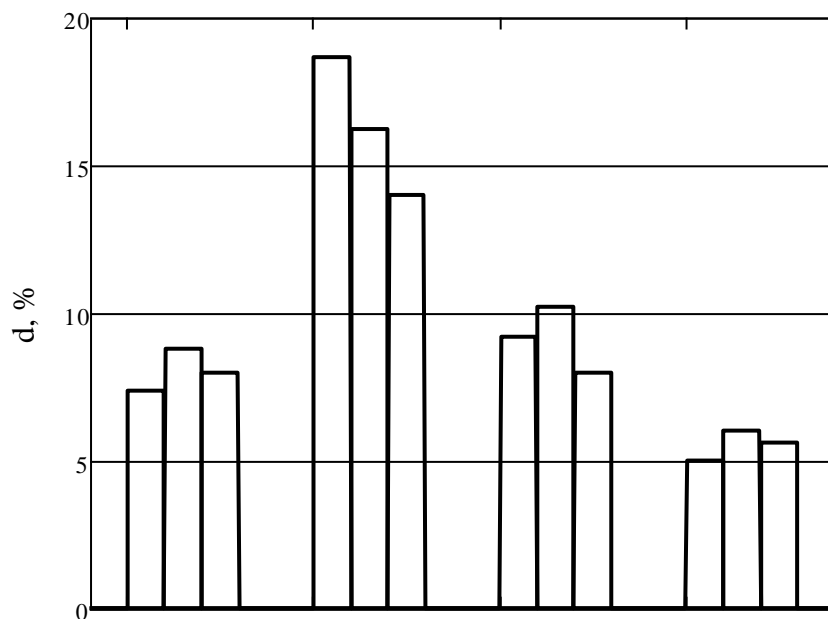


Рис. 3. Четырехкомпонентная смесь: этилен, хлоропрен, гидразин, аммоний

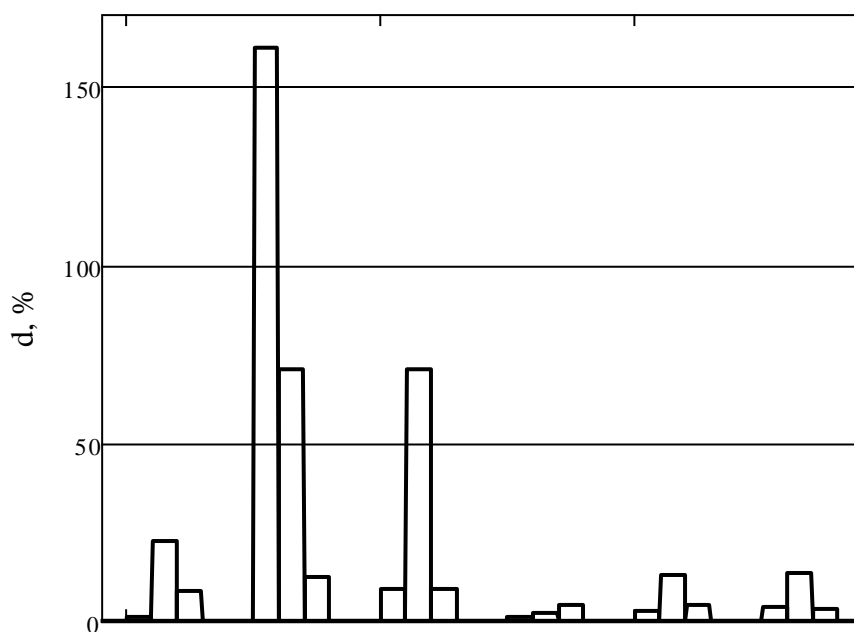


Рис. 4. Шестикомпонентная смесь: этилен, хлоропрен, гидразин, аммоний, метанол, этил акрилат.

Таким образом, проекционный метод при использовании в качестве начальных приближений средних значений концентраций газов или величин несильно отличающихся от средних значений обеспечивает достаточно низкий (не более 20%) уровень погрешностей определения концентраций газов как для малокомпонентных, так и многокомпонентных смесей при среднеквадратическом значении шума равным 1%.

Литература

1. Основы количественного лазерного анализа / В. И. Козинцев [и др.] М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 464 с.
2. Городничев В.А. Разработка методов и оптико-электронных средств лазерного оперативного контроля многокомпонентных газовых смесей составляющих ракетных топлив и других токсичных веществ. Автореф. дисс. ... доктора техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 32 с.
3. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды / В.И. Козинцев [и др.] М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 528 с.
4. Лазерный оптико-акустический анализ многокомпонентных газовых смесей / В.И. Козинцев [и др.] М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. 352 с.
5. Белов М.Л., Еременко Л.Н., Козинцев В.И., Федотов Ю.В. Обработка данных измерений при многокомпонентном лазерном оптико-акустическом газоанализе // Вестник МГТУ. Приборостроение. - 2009 – спец. Выпуск "Антенны и устройства радио- и оптического диапазонов", - С.225-231.
6. Преображенский Н.Г., Пикалов В.В. Неустойчивые задачи диагностики плазмы. Новосибирск: Наука, 1982. 238 с.