

Рис. 6. Результаты определения СО при разных концентрациях CO_2 , и H_2O

Анализ полученных результатов показывает, что методы недисперсионного корреляционного контроля позволяют определять содержание СО в отходящих газах котлов вплоть до концентраций 10^{-4} от объема при длине трассы 1 м. В случае необходимости непрерывного контроля меньших значений концентрации СО можно аналогичными методами одновременно контролировать содержание паров воды и CO_2 , вводя в процессе расчетов необходимые поправки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Firago V.A., Manak I.S. Tendencies of development of GaAs-analytical means with stable service properties // 2-nd GR-I Intern. Conf. of new Laser, Technologies and application. - Olympia: 1997 - p.31.

УДК 535.32: 551.508

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПУТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.С. Манак, В.А. Фираго, А.А. Афоненко, С.Н. Дрозд

(БГУ, г. Минск)

Для осуществления непрерывного экологического мониторинга, а также контроля различных технологических процессов необходимы средства количественного газового анализа. Современные газоанализаторы должны обладать высокой селективностью, устойчивостью к влиянию различных дестабилизирующих

факторов и небольшой стоимостью. Создание такой аппаратуры - трудоемкая научно-техническая задача. Существенное снижение затрат на ее разработку возможно только при использовании компьютерного моделирования основных процессов, происходящих при формировании зондирующего излучения, его взаимодействии с контролируемой средой, при приеме и обработке пришедшего с трассы сигнала.

Разработанный программный комплекс позволяет на стадии проектирования оперативно оценивать характеристики оптических абсорбционных газоанализаторов. Реализован гибкий алгоритм построения компьютерной модели газоанализатора, содержащего источники излучения, оптические фильтры, кюветы, фотоприемники. Предусмотрены возможности выбора методов абсорбционного анализа, формирования зондирующих и обработки принимаемых сигналов. При проектировании газоанализаторов используется база данных по линиям поглощения 33 газов. Программный комплекс позволил проанализировать принципы построения газоанализаторов на основе лазерных диодов и светодиодов, которые исключают влияние на результат измерений диссипативных потерь, определяемых состоянием контролируемой среды, загрязненностью поверхностей оптических элементов, нестабильностью коэффициента передачи электронного тракта и т.д.

В дифференциальном методе лазерной диодной спектроскопии парциальное давление контролируемого газа определяется из анализа спектрального профиля выбранной линии поглощения. Перестройка длины волны излучения лазерного диода, необходимая для сканирования контура выбранной линии поглощения, обычно осуществляется за счет периодического изменения его температуры, что приводит также к изменению выходной мощности. Так как инжекционный лазер, как правило, работает в многомодовом режиме, регистрируемый на фотоприемнике сигнал в дискретные моменты времени t_i , соответствующие определенной длине волны излучения λ_i , представляется в виде:

$$I_i = \tau \left(\Phi_{0i} \exp[-k(\lambda_i)PL] + \sum_{m=1} \Phi_m \exp[-k(\lambda_i + m\Delta\lambda)PL] \right), \quad (1)$$

где Φ_m - мощности излучения на отдельных модах m , τ - коэффициент пропускания оптической системы, который с большой степенью точности можно считать независимым от λ , $k(\lambda)$ и P - соответственно коэффициент поглощения и парциальное давление контролируемого газа, L - длина трассы. Если мощность излучения одной моды, для определенности $m=0$, во много раз превышает мощность из-

лучения остальных мод, в режиме линейного поглощения при $k(\bullet)PL \text{ II } 1$, логарифм сигнала линейно зависит от произведения PL :

$$\ln u_i = \left[-k(\lambda_i) + \sum_{m \neq 0} \frac{\Phi}{\Phi_{0i}} [k(\lambda) - k(\lambda_i + m\Delta\lambda)] \right] PL + \left[\ln \tau + \ln \Phi_{0i} + \sum_{m \neq 0} \frac{\Phi}{\Phi_{0i}} \right]. \quad (2)$$

Чтобы исключить из рассмотрения неизвестные коэффициент пропускания оптической системы и величину средней мощности лазерного излучения, искомая концентрация газа вычисляется на основе разностного сигнала

$$d_i = \ln u_i - \ln u_{i+\Delta}, \quad (3)$$

где значение Δ определяется при оптимизации характеристик газоанализатора.

Процесс измерения осуществляется следующим образом. На этапе предварительной калибровки записывается массив данных d_{bi} для холостого режима, когда излучение проходит только опорную кювету $PL = P_b L_b$, а также калибровочный массив d_{ci} , когда помимо опорной кюветы излучение проходит через кювету с известным содержанием газа $PL = P_b L_b + P_c L_c$. Тогда содержание искомого газа на трассе $P_b L_b = x P_c L_c$ находится путем минимизации суммы:

$$\sum_i [x(d_{ci} - d_{bi}) - (d_{ci} - d_{bi})]^2 = \min. \quad (4)$$

В данном выражении предполагается, что индексы у всех массивов соответствуют одинаковой длине волны. На практике вследствие медленных флуктуаций температуры может оказаться, что диапазоны сканирования при трассовом и калибровочных измерениях не совпадают, поэтому одинаковой длине волны соответствуют величины d_{bi} , $d_{c(i+\Delta bc)}$ и $d_{x(i+\Delta bx)}$, а рассогласования диапазонов Δ_{bc} и Δ_{bx} подлежат определению. Для их нахождения целесообразно применять корреляционную методику. При ее реализации необходимо, чтобы переменная составляющая дифференциальных сигналов была обусловлена в основном за счет поглощения в газе, а не за счет вариации мощности источника. Отсюда следует, что для исключения влияния на результат измерения неконтролируемых (при вариации температуры) изменений мощности и модового состава источника, произведение $P_b L_b$ в опорной кювете должно быть выбрано как можно большим. При этом для обеспечения линейности анализируемой системы уравнений полное поглощение не должно превышать нескольких процентов.

Результаты моделирования лазерного измерителя концентрации кислорода свидетельствуют о достаточной пороговой чувствительности модифицированного

корреляционного метода и его высокой линейности в большом диапазоне изменения концентрации контролируемого компонента даже при использовании диодов с многомодовым излучением. Отметим, что данному методу присущи метрологическая надежность и эксплуатационная устойчивость. В этом методе исключаются погрешности, связанные с загрязнением оптических поверхностей, изменениями коэффициента передачи усилителей, вызванные нестабильностью поддержания средней температуры лазерного кристалла и т.д.. Точное определение концентрации контролируемого газа возможно в большом диапазоне при калибровке газоанализатора только по одному значению концентрации калибровочной смеси.

Для мониторинга газов, имеющих линии поглощения в средней инфракрасной области спектра, применяются некогерентные полупроводниковые излучатели. При использовании светодиодов для обеспечения селективности анализа предпочтительно применять метод недисперсионной корреляционной спектроскопии. Функциональная схема недисперсионного корреляционного газоанализатора СО подробно рассмотрена в [1]. Парциальное давление контролируемого газа определяется из соотношений:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_1(\lambda) \cdot \Phi_1(\lambda) \cdot \exp[-k(\lambda)(P_{k1}l_{k1} + P_{cp}l_{cp}) - k_{cp}(\lambda)P_{cp}] d\lambda, \\
 u_2 &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_2(\lambda) \cdot \Phi_2(\lambda) \cdot \exp[-k(\lambda)(P_{k2}l_{k2} + P_{cp}l_{cp}) - k_{cp}(\lambda)P_{cp}] d\lambda,
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где u_1 и u_2 сигналы на фотоприемнике от двух светодиодов с потоками излучения $\Phi_1(\bullet)$ и $\Phi_2(\bullet)$; $\tau_1(\lambda)$, $\tau_2(\lambda)$ – результирующие коэффициенты пропускания оптических трактов системы, включающие ослабление при прохождении окон кювет, полупрозрачных зеркал, фильтров, $k(\bullet)$ – коэффициент поглощения контролируемого газа; $P_{k1}l_{k1}$, $P_{k2}l_{k2}$ – произведения парциального давления газов в кюветах на их длины, P_{cp} – парциальное давление контролируемого компонента в дымовых газах; $k_{cp}(\lambda)P_{cp}$ – произведение коэффициента поглощения дымовых газов на их парциальное давление при отсутствии исследуемого газа; l_{cp} – длина контролируемой трассы.

В качестве информационного сигнала используется отношение $(u_1 - u_2)/(u_1 + u_2)$, которое не зависит от абсолютной величины мощности излучателей и от недисперсионной части коэффициента пропускания общего для двух ка-

налов тракта оптической системы. При калибровке анализатора регулировкой тока инжекции диодов добиваются равенства u_1 и u_2 при отсутствии контролируемого газа на трассе. При $k(\bullet) P_{cp} I_{cp} \approx 1$ информационный сигнал, как можно показать из (5) при $P_{k1} I_1 \neq P_{k2} I_2$, линейно зависит от P_{cp} , что позволяет после калибровки газоанализатора определять парциальное давление газа в среде. Компьютерное моделирование позволяет определить оптимальные значения парциального давления газов в корреляционных кюветах и выбрать полосы пропускания интерференционных фильтров с учетом влияния сопутствующих газов. Для системы контроля NO его оптимальное парциальное давление в корреляционной кювете длиной 6 см составляет 0,25 от атмосферного.

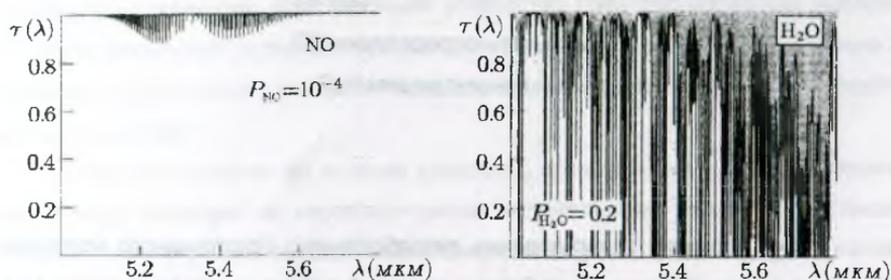


Рис.1. Спектры пропускания оксида азота и паров воды

Основным препятствием улучшения селективности газоанализатора является наличие в исследуемой среде других газов, спектр поглощения которых перекрывается со спектром анализируемого компонента, например, паров воды при определении концентрации NO (рис.1). Введение в оптический тракт дополнительных фильтрующих кювет с компонентами, содержащимися в дымовых газах, позволяет уменьшить погрешность измерений на порядок. В рассматриваемом примере оценка показаний газоанализатора получена для трассы длиной 1 м при пороговой чувствительности приемника излучения 10^{-9} Вт и интегральной мощности инфракрасного светодиода 50 мкВт. На рис. 2 по оси ординат представлены определяемые значения произведения парциального давления NO на длину трассы (100 см), а по оси абсцисс - истинные. Величина доверительных интервалов полагалась равной среднеквадратичному значению шумов приемника. В качестве фильтра сопутствующих газов использовалась кювета длиной 1 м с парци-

альным давлением паров воды 0,1 от атмосферного при температуре 50°C. Дальнейшего уменьшения погрешности измерений можно добиться при дополнительном контроле содержания паров воды в анализируемой среде.

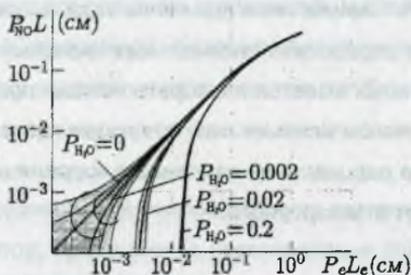


Рис.2. Результаты определения NO при разных концентрациях H₂O

Таким образом, использование разработанного программного комплекса позволяет учесть влияние дестабилизирующих факторов и наличия других газовых компонент в анализируемой среде на результаты измерений, а также провести оптимизацию структуры и характеристик отдельных узлов проектируемых газоанализаторов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Непрерывный контроль отходящих газов котлов для оптимизации процессов сгорания топлива / В.А.Фираго, А.А.Афоненко, И.С.Манак, С.Н.Дрозд. // Сб. докл. Международной НТК "Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении". - Витебск: ВГТУ, 1998. - С.197-199.