

УДК 621.52.032:621.383.4/5:029.672

МЕДИЦИНСКИЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР НА ЛАЗЕРАХ И ФОТОПРИЕМНИКАХ БЛИЖНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА

*А. Д. Бритов, А. И. Надеждинский, А. Г. Березин, А. С. Кононов,
Н. А. Сулейманов, О. В. Ершов, В. Г. Кутняк*

Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение "Орион"»,
Москва, Россия,

Разработан неохлаждаемый вариант высокочувствительного лазерно-спектроскопического газоанализатора. Для регистрации газов используются аналитические линии на основе составных частот. Применены фотоприемники и лазерные диоды ближнего ИК-диапазона в районе 1,7 мкм. Наиболее перспективным является использование прибора в медицине (ранняя диагностика заболеваний внутренних органов).

В настоящее время в медицине появился усиленный интерес к диагностике функциональных расстройств и раннего обнаружения заболеваний жизненных систем человека с помощью анализа газовых микрокомпонент выдыхаемого воздуха человека.

В частности, лазерный анализ может быть применен в лечении онкологических заболеваний. Есть основания считать, что с его помощью возможна более ранняя диагностика появления раковых клеток во внутренних органах человека.

С помощью высокочувствительного лазерного спектрального анализа имеется возможность в выдыхаемом и вдыхаемом газах обнаружить все микрокомпоненты, которые могут свидетельствовать о функциональных расстройствах в организме. На основании тех или иных микрокомпонент возможно оценить состояние органов и систем и в соответствии с этим целенаправленно проводить терапию этих нарушений. Анализ можно проводить в реальном масштабе времени либо путем взятия пробы выдыхаемого воздуха в кювету.

Газоаналитический метод является альтернативой методам диагностики, основанным на анализе крови. Он отличается неинвазивностью, исключает возможность заражения гепатитом и СПИДом, выполняется в реальном масштабе времени и в перспективе может диагностировать развитие заболеваний (диабет, рак внутренних органов, цирроз печени и др.) на более ранних стадиях.

Прибор основан на методе диодно-лазерной спектроскопии, обладающим высокой обнаружительной способностью выявления следов газообразных веществ (до 1 млрд^{-1}). Лазерно-спектроскопический анализатор в неохлаждаемом варианте включает в себя лазерный модуль с перестройкой частоты с помощью изменения температуры в Пельтье холодильнике, многоходовую кювету, фотоприемный модуль и систему регистрации. В этом случае регистрируются СО и метан на основе составных частот. Прорабатывается вопрос о регистрации других газов на основе составных частот в ближней ИК-области в неохлаждаемом варианте. В аппаратуре предусматривается выход на компьютерную обработку информации.

Конструкция газоанализатора и метод измерения

Газоанализатор функционально состоит из трех условных частей:

1. Оптическая часть, включающая в себя диодный лазер (ДЛ) в качестве источника излучения с системой стабилизации температуры, две оптические кюветы: одна — многопроходная с перестраиваемой длиной оптического пути

(от 1 до 100 м), другая — реперная (короткая — длиной 5 см), два приемника излучения соответственно в аналитическом и реперном каналах.

2. Два электронных блока, первый из которых предназначен для усиления и преобразования сигналов с фотодетекторов, второй — для управления лазером, его температурой, первичной обработки данных, связь с компьютером.

3. Компьютер и программа управления газоанализатором.

Блок-схема газоанализатора изображена на рис. 1.

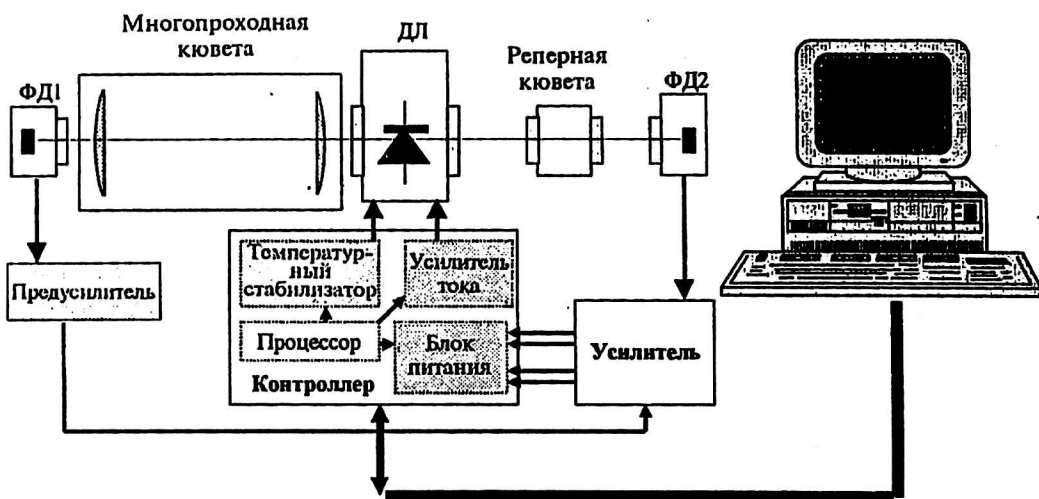


Рис. 1. Блок-схема газоанализатора

В качестве источника излучения в анализаторе используется ДЛ на основе состава GaInPAs, работающий при температуре вблизи комнатной, излучающий в области ближнего ИК-диапазона частот. Полоса излучения ДЛ — 10^{-3} см⁻¹. Частота излучения лазера при помощи тока и температуры перестраивается в диапазоне 6000—6080 см⁻¹ (соответственно по длине волны — 1,645—1,666 мкм), где наблюдаются достаточно сильные линии поглощения метана. Мощность излучения лазера — 3 мВт, пороговый ток — 50 мА (излучение лазера такой мощности в этом диапазоне частот не представляет опасности для человека). Лазер работает в импульсном режиме с длительностью импульса около 1 мс и с частотой около 500 Гц. В пределах каждого импульса осуществляется развертка частоты излучения ДЛ при помощи тока в диапазоне около 2 см⁻¹. Настройка диапазона частоты излучения лазера производится настройкой и стабилизацией температуры ДЛ. Для этой цели ДЛ смонтирован на элементе Пельтье, позволяющего варьировать температуру в диапазоне 0—50 °С. Для стабилизации температуры ДЛ в приборе используются термодатчики, расположенные вблизи лазера симметрично. Долговременная стабильность температуры ДЛ составляет 10⁻² град.

ДЛ излучает в двух противоположных направлениях, что используется в конструкции данного прибора. Излучение лазера в одном направлении направляется в перестраиваемую многопроходную оптическую кювету, на выходе которой расположен фотоприемник; этот канал называется аналитическим. Излучение лазера в другом направлении дважды проходит через закрытую реперную кювету (заполненную метаном определенной концентрации) и попадает на другой фотоприемник; этот канал называется реперным. Фотоприемники сделаны на основе германиевых фотодиодов. В качестве аналитической многопроходной

кюветы применяется виброустойчивая матричная система Чернина-Барской базовой длины 0,5 м с перестройкой длины оптического пути от 1 до 100 м.

Поглощение детектируемого газа пропорционально длине оптического пути в аналитическом канале. Применяемая методика измерений позволяет детектировать контур выбранной (наиболее сильной) линии поглощения метана, контур линии является характерной особенностью детектируемого газа. Метод вычисления концентрации газа основан на сравнении контуров линий поглощения в аналитическом и реперном каналах. Это позволяет достичь высокой селективности прибора по отношению к другим газам.

Используемые в газоанализаторе два электронных модуля (усилитель и контроллер) осуществляют функции управления ДЛ и обработку сигналов с фотоприемников. В усилителе обработка сигналов включает в себя трехступенчатое дифференцирование сигналов для выделения слабых линий поглощения. Контроллер включает в себя двухканальный АЦП и процессор для предварительной обработки данных. Связь контроллера с компьютером осуществляется через последовательный ком-порт. Электронные блоки собраны на западных комплектующих и продемонстрировали надежность в работе в течение двух лет. Внешний вид прибора в сборе (но с другой оптической системой) показан на рис. 2.

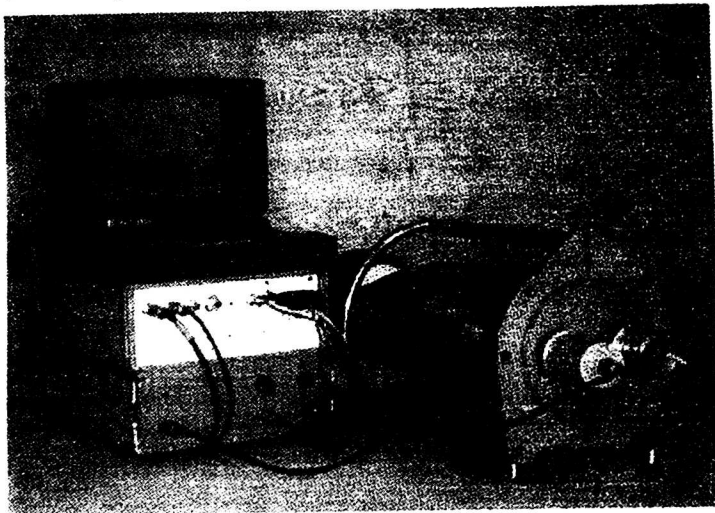


Рис. 2. Газоанализатор в сборе (с другой оптической системой)

Для управления газоанализатором может быть использован любой IBM-совместимый компьютер (начиная с 386). Программа управления газоанализатором сделана под DOS. Основная работа оператора с газоанализатором — работа с компьютерной программой. Программа позволяет установить режим работы лазера и его температуру, установить режимы работы АЦП, вывести обработанные сигналы с фотоприемников на экран монитора и осуществлять вывод на экран монитора (с одновременной записью в файл) функции концентрации метана от времени в режиме реального времени.

Тестирование газоанализатора и его технические параметры

Тестирование газоанализатора производилось в лабораториях ИОФ РАН и в компании Gaz de France. В конце 1998 г. газоанализатор тестирован в институте с лицензией Госстандарта с целью получения государственного сертификата.

Тестирование газоанализатора производилось не только для измерения метана, но также и на измерение CO , CO_2 (с другими диодными лазерами), но наиболее полный комплекс измерений был проделан для метана. Измерение концентрации метана производилось с различными газовыми смесями в трех различных режимах: в режиме закрытой кюветы с промежуточной откачкой, в режиме прокачки газовых смесей, в режиме открытой кюветы. На рис. 3. изображена зависимость концентрации метана в закрытой кювете при различных условиях ее заполнения.

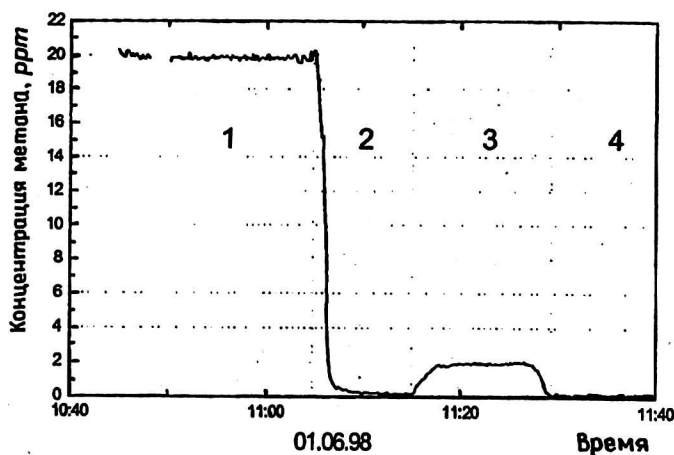


Рис. 3. Мониторинг концентрации метана в закрытой аналитической кювете при различных условиях:

- 1 — калиброванная смесь 20 ppm метана с воздухом ($P = 1$ атм);
2, 4 — откачка объема многопроходной кюветы; 3 — воздух в лаборатории

На основании проведенных тестирований прибора были определены его основные технические параметры:

прибор позволяет измерять концентрации метана в различных газовых смесях при давлениях 0,1 — 760 тор (1 атм);

пороговая чувствительность анализатора метана — 0,04 ppm;

метод измерения в выбранном режиме позволяет измерять концентрации до 10 000 ppm (1 %). (Примечание. Для более высоких концентраций метана прибор можно применять, но это не имеет смысла, так как для этих случаев существуют более простые методики);

относительная точность измерений концентрации метана составляет 1% до тех пор, пока эта величина превышает 0,04 ppm;

селективность анализатора метана по отношению к другим газам составляет: к CO_2 — $4 \cdot 10^5$, к CO и H_2O — более 10^6 , к пропану и бутану — $2 \cdot 10^4$;

минимальное время одного измерения — 1 мс, при малых концентрациях метана (измерения с усреднением по 255 импульсов) — 1 с. Время обработки данных и передачи в компьютер через ком-порт — 10 с;

общая масса прибора без компьютера — 15 кг.

В настоящее время производится модернизация газоанализатора в трех направлениях:

изменение конструкции модуля установки лазера и адаптивной оптики для ввода излучения в многопроходную кювету с целями удобства настройки оптики и увеличения виброустойчивости системы;

изменения конструкции электронного блока контроллер. Новая модификация блока делается на основе стандартных выпускаемых серийно блоках питания лазера, стабилизации температуры, АЦП, ЦАП. Модификация контроллера упрощает запуск прибора для серийного производства и позволит улучшить ряд технических характеристик, наиболее существенно — уменьшение времени обработки и передачи данных до 1 с;

изменение программной оболочки. Программа делается на основе стандартной программы Lab View под Windows. Цели — более совершенная и удобная программа с возможностью оперативного внесения изменений по мере развития прибора.

MEDICAL GAS ANALYSER ON LASERS AND PHOTODETECTORS FOR NEAR IR-RANGE

*A. D. Britov, A. I. Nadezhdinskii, A. G. Berezin, A. S. Kononov,
N. A. Suleimanov, O. V. Ershov, V. G. Kutnyak*
The State Unitary Enterprise «RD&P Centre "Orion"», Moscow, Russia

An uncooled variant of a high-sensitive laser spectroscopic gas analyser is developed. Analytic lines based on combination pound frequencies are used for gas detection. Photodetectors and laser diodes for near 1,7 μm IR-range were used. Application of this device in medicine (making early diagnosis of internal organs diseases) is the most perspective one.