



Институт мониторинга климатических и
экологических систем СО РАН

Стационарный СКР-газоанализатор для оперативного анализа многокомпонентных газовых сред

Д.В. Петров, М.А. Булдаков, И.И. Матросов

Актуальность



Оперативный мониторинг многокомпонентных газовых смесей в реальном масштабе времени является актуальной задачей в различных областях народного хозяйства.

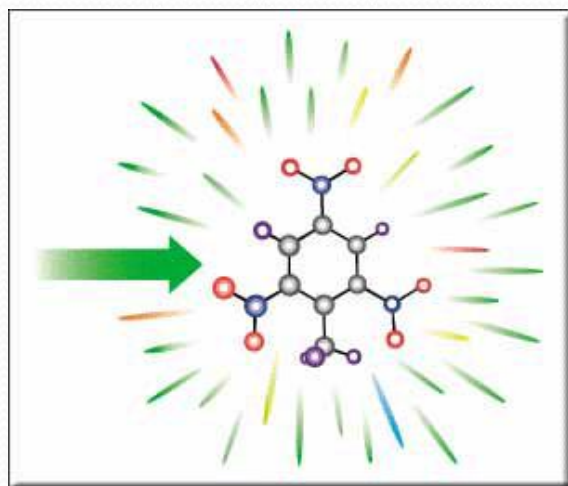
Разработка газоанализаторов нового поколения для оперативного мониторинга сложных газовых сред природного и техногенного происхождения является важнейшей задачей газоаналитического приборостроения.



Три основных универсальных метода газоанализа



Спектроскопия спонтанного комбинационного рассеяния света (СКР)

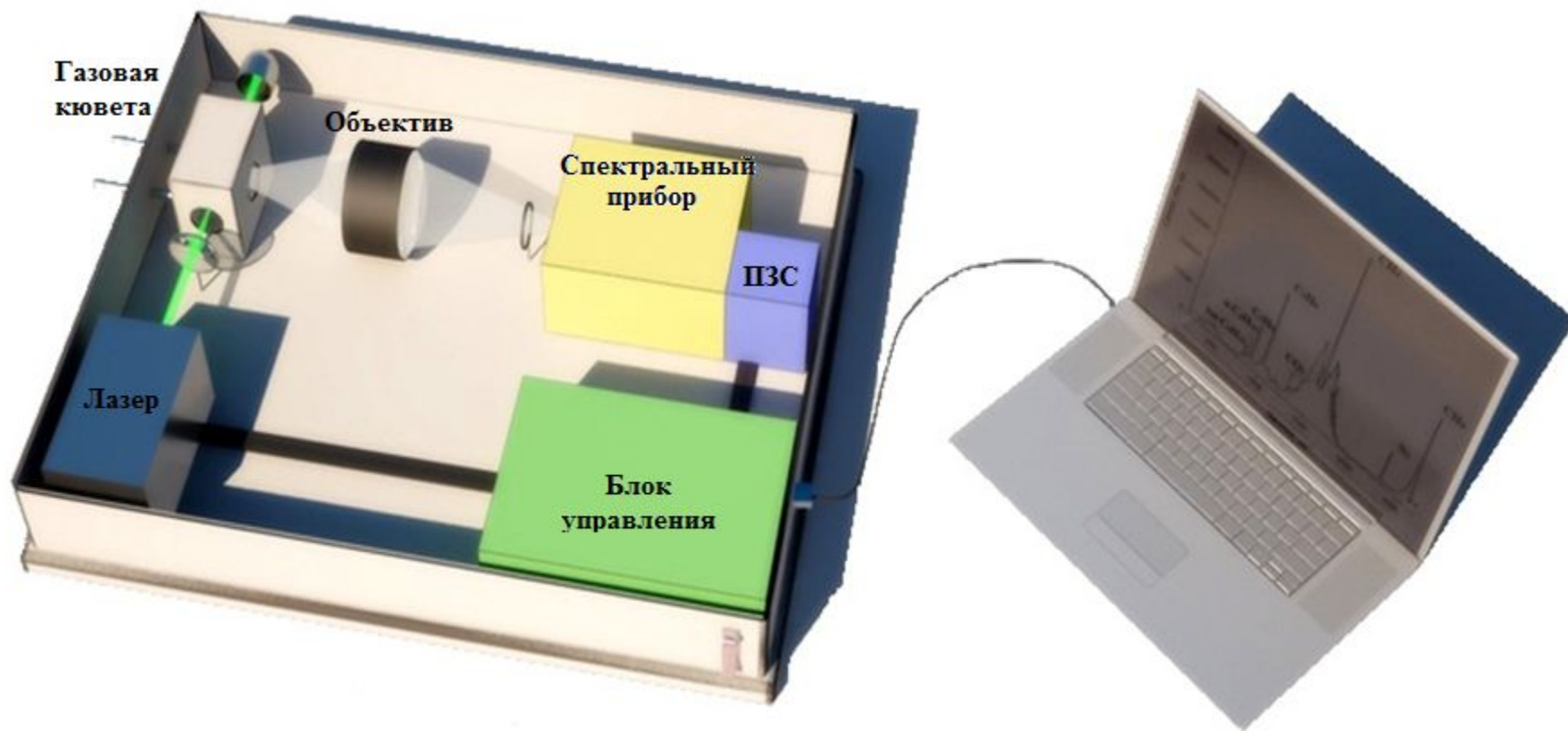


Суть явления заключается в рассеянии молекулами среды возбуждающего света на частотах соответствующих внутреннему строению этих молекул, причем интенсивность этих рассеянных сигналов будет соответствовать концентрации молекул.

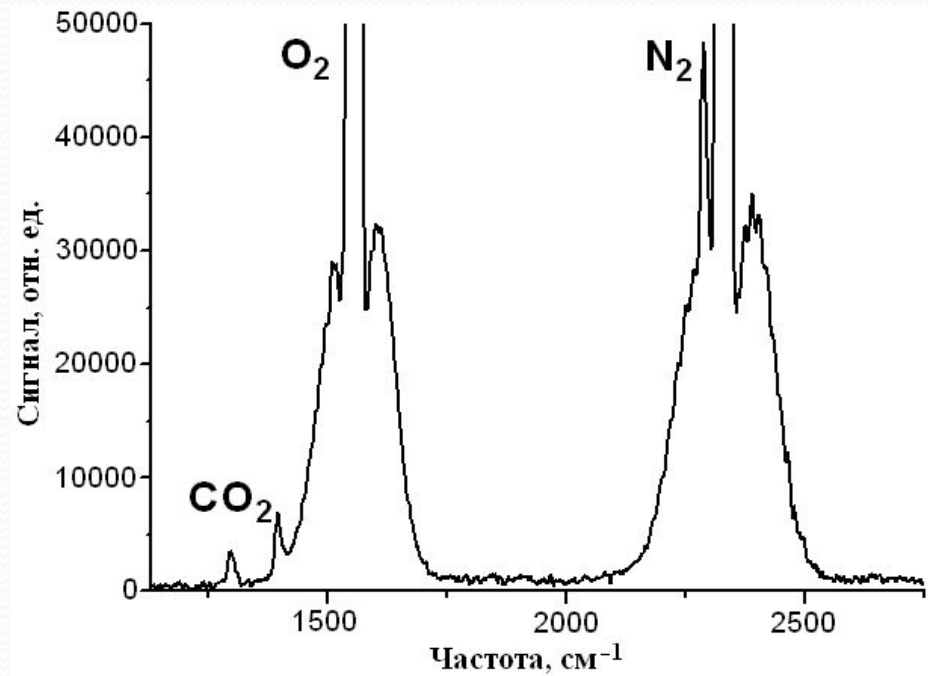
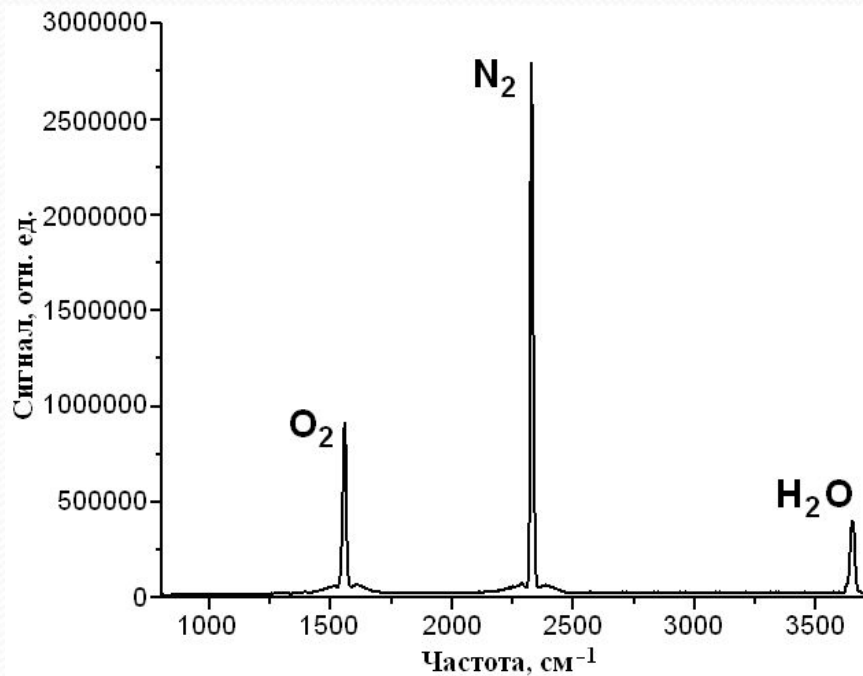
Преимущества:

- *одновременный контроль всех молекулярных компонентов газовой среды с помощью одного лазера с фиксированной длиной волны;*
- *оперативность получения результата;*
- *отсутствие расходных материалов и сложной пробоподготовки,*
- *возможность диагностики газовых сред, качественный состав которых заранее неизвестен.*

Макет стационарного СКР-газоанализатора



Экспериментально полученный спектр СКР воздуха



$W_{\text{лаз}} = 0.5 \text{ Вт}$

$t_{\text{эксп}} = 1000 \text{ секунд}$

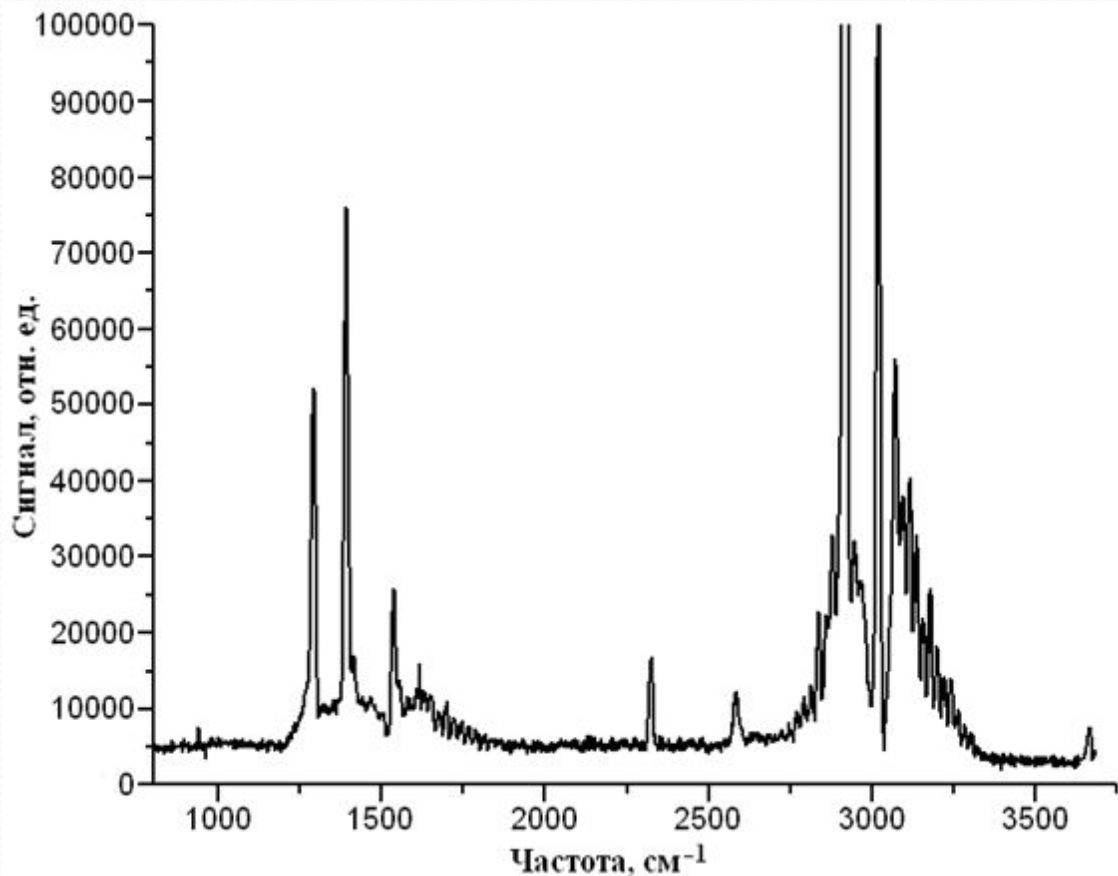
$P = 6 \text{ атм}$

Предельная чувствительность:

~ 10 ppm CO₂;

~ 5 ppm H₂O.

Экспериментально полученный спектр СКР биогаза

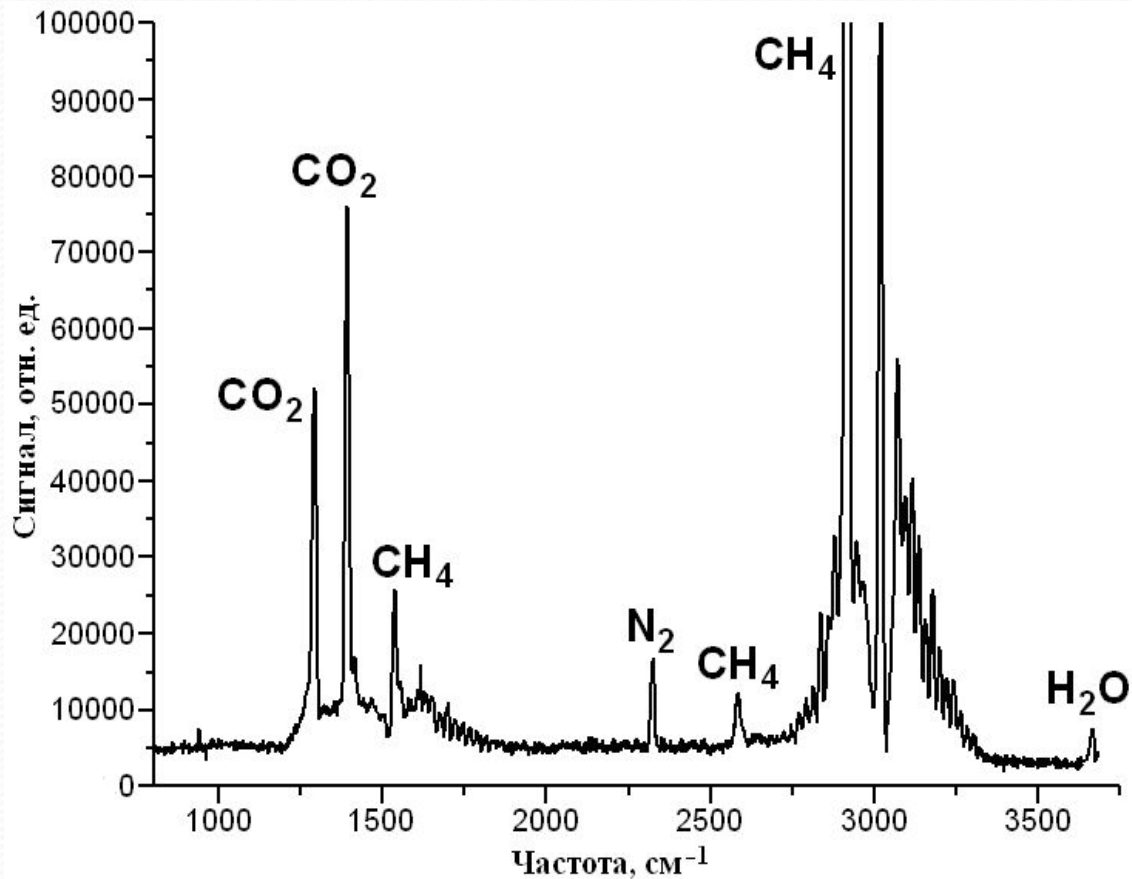


$W_{\text{лаз}} = 0.5 \text{ Вт}$

$t_{\text{эксп}} = 1000 \text{ секунд}$

$P = 1 \text{ атм}$

Экспериментально полученный спектр СКР биогаза

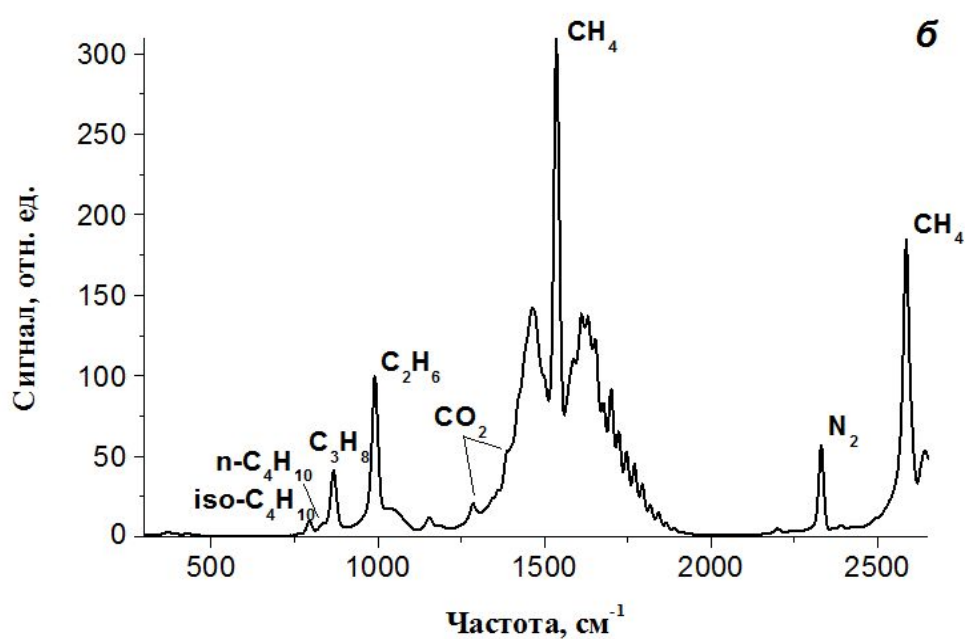
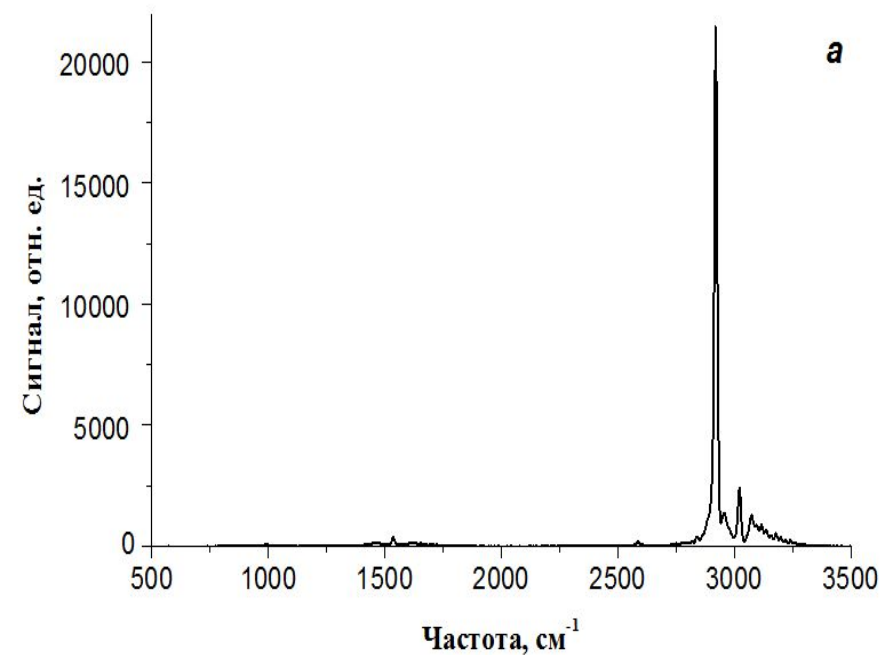


$W_{\text{лаз}} = 0.5 \text{ Вт}$

$t_{\text{эксп}} = 1000 \text{ секунд}$

$P = 1 \text{ атм}$

Спектр СКР природного газа



$$W_{\text{лаз}} = 1 \text{ Вт}$$

$$t_{\text{эксп}} = 1000 \text{ секунд}$$

$$P = 30 \text{ атм}$$

Методика расчета концентраций

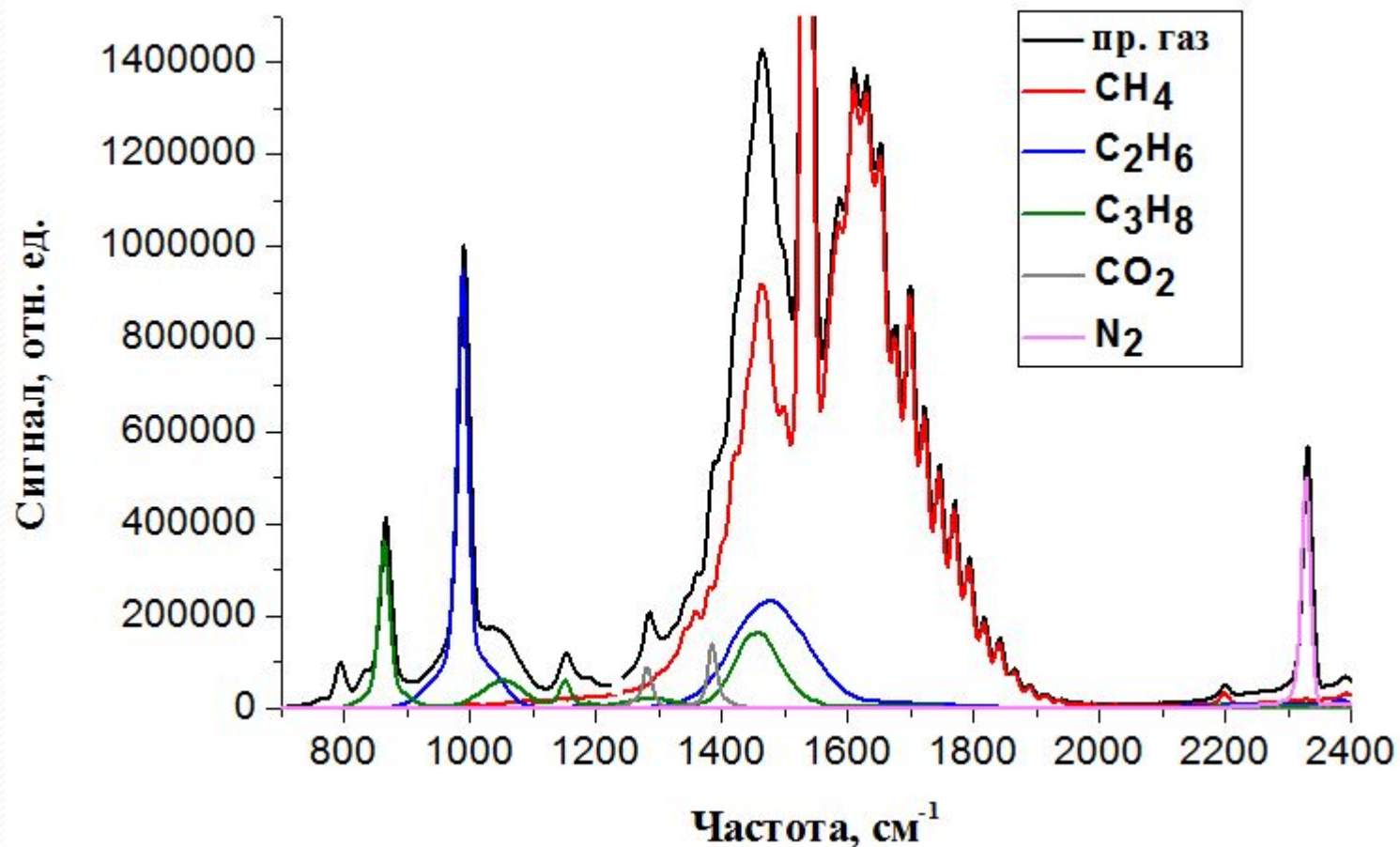
$$I^k = \sum_j a_j I_j^k$$

1. Составление системы уравнений

где a_j – вклад j -го компонента газовой среды в сигнал I^k , а I_j^k – сигнал СКР этого же отдельного компонента, который был зарегистрирован ранее k -ым столбцом ПЗС матрицы.

2. Решение данной системы методом наименьших квадратов
3. Определение относительного содержания различных искоемых компонентов газовой среды путем нормировки полученных значений a_j на 100%.

Вклады основных компонентов природного газа в его спектр СКР



Сопоставление полученных результатов с данными хроматографического анализа

Компонент	СКР, %	Хроматограф, %
Метан, CH ₄	92,32	92,26 ± 0,15
Этан, C ₂ H ₆	3,55	3,45 ± 0,14
Пропан, C ₃ H ₈	1,15	1,26 ± 0,08
н-Бутан, n-C ₄ H ₁₀	0,17	0,224 ± 0,014
изо-Бутан, iso-C ₄ H ₁₀	0,18	0,192 ± 0,012
н-Пентан, n-C ₅ H ₁₂	0,05	0,040 ± 0,003
изо-Пентан, iso-C ₅ H ₁₂	0,04	0,047 ± 0,003
Азот, N ₂	1,97	1,95 ± 0,08
Углекислый газ, CO ₂	0,57	0,54 ± 0,03
Кислород, O ₂	—	0,008 ± 0,002
Водород, H ₂	—	0,004 ± 0,001
Гелий, He	—	0,018 ± 0,002
Высшие углеводороды	—	0,023 ± 0,002

Заключение и перспективы

- Проведена проверка работоспособности созданного макета стационарного газоанализатора, основанного на спектроскопии спонтанного комбинационного рассеяния света.
- Данная проверка показала, что макет способен одновременно регистрировать все молекулярные составляющие газовой среды содержание которых превышает 0,01 %.
- Получено хорошее согласие результатов с данными хроматографического анализа
- В дальнейшем планируется работа по повышению чувствительности и точности прибора за счет применения неких технических решений и более сложных математических аппаратов обработки спектров.

Спасибо за внимание!

dpetrov@imces.ru

Методика расчета концентраций

$$I^k = \sum_j a_j I_j^k$$

a_j – вклад j -го компонента природного газа в сигнал I^k

I_j^k – сигнал СКР этого же отдельного компонента, который был зарегистрирован ранее k -ым столбцом ПЗС матрицы.

Относительное содержание различных компонентов природного газа определяется путем нормировки полученных значений a_j на 100 %

Сопоставление полученных результатов с данными хроматографического анализа

Компонент	СКР, %	Хроматограф, %
Метан, CH ₄	92,32 ± 0,05	92,26 ± 0,15
Этан, C ₂ H ₆	3,55 ± 0,02	3,45 ± 0,14
Пропан, C ₃ H ₈	1,15 ± 0,02	1,26 ± 0,08
н-Бутан, n-C ₄ H ₁₀	0,17 ± 0,01	0,224 ± 0,014
изо-Бутан, iso-C ₄ H ₁₀	0,18 ± 0,01	0,192 ± 0,012
н-Пентан, n-C ₅ H ₁₂	0,05 ± 0,01	0,040 ± 0,003
изо-Пентан, iso-C ₅ H ₁₂	0,04 ± 0,01	0,047 ± 0,003
Азот, N ₂	1,97 ± 0,02	1,95 ± 0,08
Углекислый газ, CO ₂	0,57 ± 0,01	0,54 ± 0,03
Кислород, O ₂	—	0,008 ± 0,002
Водород, H ₂	—	0,004 ± 0,001
Гелий, He	—	0,018 ± 0,002
Высшие углеводороды	—	0,023 ± 0,002