УДК 504.3.054

ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Актаев Е.К., Абдула Ж., Касым А., Мустафаева А., Тайшыбеков А.

Таразский инновационно-гуманитарный университет, Тараз, e-mail: eaktaev@inbox.ru

Преимущество метода с применением лидара на комбинационном рассеянии заключается в том, что при таком методе полностью исключается неоднозначнность в интерпретации составляющих на частоте лазера, возникших в результате рассеяния Релея. Более того, в отличие от методов, основанных на резонансном рассеянии и поглощении, лидар на комбинационном рассеянии не требует специального выбора частоты излучения лазера. Таким образом, достаточно работать на одной фиксированной частоте излучения лазера для одновременного получения спектров комбинационного рассеяния всех загрязняющих веществ в пределах зондируемого района.

Ключевые слова:лазерный передатчик, передающий телескоп, анализатор спектра, фотоприемник, дисплей, загрязнение воздушный бассейн, дистанционные методы контроля

DISTANCE CONTROL OF ATMOSPHERE POLLUTION WITH USING PHYSICAL METHODS

Aktayev E.K., Abdula Zh., Kasim A., Musstafayeva A., Taishibekov A.

Taraz innovation and Humanities University, Taraz, e-mail: eaktaev@inbox.ru

The advantage using lidar combinational scattering is that with this method completely eliminates the ambiguity in the interpretation of the components in the laser frequency, resulting from Relay scattering. Moreover, in contrast to methods based on resonance scattering and absorption lidar to the combinational scattering does not require a special choice of the frequency of the laser radiation. Thus, it is sufficient to operate on a single fixed frequency laser radiation for simultaneously getting Raman spectra of all the pollutants within the probed area.

Keywords: laser transmitter, transmitting telescope, spectrum analyzer, photo detector, display, air pollution, distance control techniques

Для наиболее эффективного контроля загрязнения воздушного бассейна санитарной зоны и производственных помещений, необходимо использовать физические методы, а именно дистанционные методы контроля с применением лазеров в ИК – области спектра.

На основе полученных экспериментальных и литературных данных по определению концентрации фосфора в ЗВ, что лазерный метод имеет следующие достоинства: высокая экспрессность, большая чувствительность и большие возможности для непрерывного автоматического контроля, дистанционность, исключения отбора проб.

Преимущество метода с применением лидара на комбинационном рассеянии заключается в том, что при таком методе полностью исключается неоднозначнность в интерпретации составляющих на частоте лазера, возникших в результате рассеяния Релея. Более того, в отличие от методов, основанных на резонансном рассеянии и поглощении, лидар на комбинационном рассеянии не требует специального выбора частоты излучения лазера. Таким образом, достаточно работать на одной фиксированной частоте излучения лазера для одновременного получения спектров комбинационного рассеяния всех загрязняющих веществ в пределах зондируемого района [1].

На рис. 1 показана разработанная нами блок-схема макета лазерной системы, использующей метод КРС. В состав такой системы входят следующие элементы: лазерный передатчик, передающий телескоп, приемный телескоп, анализатор спектра, фотоприемник, процессор обработки данных, дисплей, запоминающее устройство.

Излучение лазера через коллимирующий телескоп направляется в атмосферу, где оно рассеивается смесью аэрозольных частиц и газовых компонентов, находящихся в воздухе. Спектр рассеянного назад света состоит из компонентов релеевского рассеяния с частотой v_0, совпадающей с частотой лазерного излучения, а также из линии комбинационного рассеяния v_1, v_2,… v_n.

Спектральные компоненты выделяются и регистрируются одновременно с помощью анализатора спектра вместе с оптическими фильтрами и блоком чувствительных фотодетекторов. Затем с помощью процессора многоканальная информация воспроизводится в реальном масштабе времени.

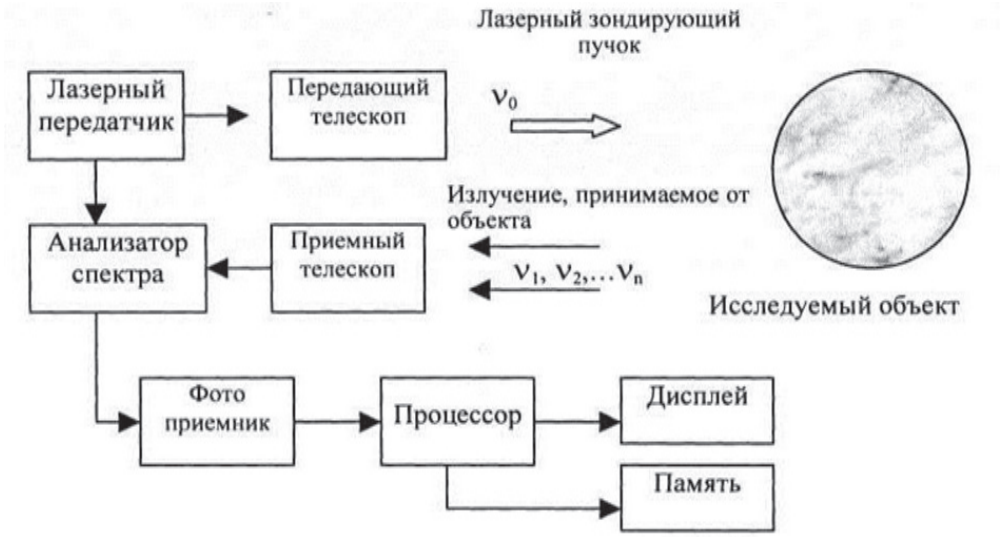

Рис. 1. Блок – схема макета на методе КРС

Дифференциальное сечение комбинационного рассеяния для основного типа колебаний молекулы имеет следующий вид:

$$\left(\frac{d\sigma^{Ram}}{d\Omega}\right)_{0.1} = \left(\frac{1}{2\pi E_0 C^2}\right)^2 \varpi_1 \varpi_2{}^3 \gamma_{0.1}{}^2 \ \alpha,^2 \quad (1.1)$$

где σ^{Ram} – сечение КР;
ϖ_1 – частота падающего излучения;
ϖ_2 – частота излучения КР;
$\gamma_{0.1}a$ – поляризуемость для КР.

Указанные частоты различаются на величину, равную частоте колебаний ϖ_v, т.е.: $\varpi_2 = \varpi_1 - \varpi_v$.

Интенсивность КР (I^{Ram}) спустя время t после прохождения лазерного импульса определяется следующим выражением:

$$I^{Ram}\left(t = \frac{2R}{C}\right) =$$

$$= \left(\frac{d\sigma^{Ram}}{d\Omega}\right) \frac{N_0(R) T_1 T_2}{R^2} \frac{C}{2} \cdot \frac{\varpi_1}{\varpi_2} W_1, \quad (1.2)$$

где W_1 – полная энергия лазерного моноимпульса;
R – расстояние до загрязнения объема, от которого сигнал КР доходит до приемника в момент t;
N_0 (R) – концентрация загрязняющих компонентов;
T_1 и T_2 – коэффициенты пропускания атмосферы на частотах соответственно. Регистрируемая интенсивность КР обусловлена рассеянием в объеме, глубина которого соответствует половине длины лазерного импульса $\lambda_0/2$.

Для простоты предлагается, что (R_0), H_0 и R^2 на протяжении этой длины постоянны.

При использовании метода КР селективное возбуждение невозможно, и поэтому в рассеянном сигнале присутствуют комбинационные частоты всех загрязняющих компонентов. Поскольку полная ширина линии КР обычно превышает 100 см$^{-1}$, возникает проблема интерференции, особенно для O_2 и N_2.

Одним из главных преимуществ метода КР является хорошее разрешение по глубине.

Мощность сигнала P_r, приходящего на приемник с расстояния R, определяется следующим уравнением:

$$P_r = P_0 l k T_L T_r A_r Y(R) N(R) \sigma(\pi) / R^2, \quad (1.3)$$

где P_0 – мощность, излучаемая лазером;
l – половина длительности лазерного импульса;
k – суммарная эффективность передающей и приемной оптических систем;
T_L и T_r – коэффициенты пропускания атмосферной трассы на частоте лазера и сигнала комбинационного рассеяния соответственно;
A_r – эффективная площадь приемника;
$Y(R)$ – геометрический фактор, учитывающий перекрытие передаваемого и принимаемого пучков;
$N(R)$ – концентрация молекул;
$\sigma(\pi)$ – дифференциальное поперечное сечение обратного комбинационного колебательно-вращательного рассеяния.

Рубиновый лазер, работающий в режиме модуляции добротности резонатора ($\lambda = 0{,}6943$ мкм), позволяет получить импульсы мощностью до 10 МВт и длительностью до 30 нс. Выходной пучок колли-

мируется линзовым телескопом диаметром 5 см., рассеянное излучение собирается сферическим или параболическим зеркалом диаметром не менее 30 см., приемный телескоп собран по схеме Ньютона. Для выделения сигналов комбинационного рассеяния в фокусе зеркала помещается одинарный или двойной монохроматор, который используется как спектроанализатор. Для подавления релеевского рассеяния применяются длинноволновые фильтры, коэффициент пропускания которых при $\lambda = 0{,}6943$ мкм составляет 10^{-8}. Сигнал, выходящий из монохроматора, принимается фотоумножителем и воспроизводится на двухлучевом осциллографе, рассчитанном на работу в диапазоне до 30 МГц. Абсолютная концентрация компонента загрязненного воздуха может быть определена путем сравнения интенсивности их линий комбинационного рассеяния с линиями КР молекулярного азота и кислорода.

Таким образом, предельно обнаруживаемые концентрации могут быть уменьшены путем совершенствования параметров лидара: увеличения энергии лазерного импульса, диаметра зеркала приемного телескопа и т.д.

Спектральные измерения сигналов комбинационного рассеяния от молекул N_2 и O_2 атмосферы были выполнены Инабой и Кобаяси в 1970 г. [1].

На рис. 2 представлен типичный результат записи спектра PH_3, H_2S, CO и воздуха, полученные на хроматографе ЛХМ-72.

На рис. 2 показан спектр комбинационного рассеяния различных частиц, присутствующих в облаке дымового шлейфа от горящего факела. Фосфорные соединения сжигались в топке, выходящий из трубы, дым был настолько слаб, что едва заметен глазом. При этом наблюдались максимумы интенсивности на длинах волн комбинационного рассеяния, соответствующих SO_2, C_2H_4, H_2CO, NO, CO, PH_3, H_2S, CH_4, а также основным составляющим CO_2, O_2, N_2 и H_2O [2].

Для комбинационного рассеяния наиболее важной величиной является не абсолютное значение волнового числа линий, а разность $\Delta\varpi$ между линиями комбинационного рассеяния и линией возбуждающего света. Разность частот возбуждающего света и комбинационного рассеяния не зависит от частоты возбуждающего света, а определяется только природой рассеивающего вещества и является его индивидуальной характеристикой. Опыт показал, что комбинационный сдвиг $\Delta\varpi$ равен частоте полос поглощения в ИК – спектре того же вещества.

Комбинационный сдвиг для молекулы фосфина можно определить по его ИК – спектру. ИК – спектр фосфина записывался на ИКС-29. В средней ИК области фосфин имеет следующие полосы поглощения: $\omega_1 = 995$ см$^{-1}$, $\omega_2 = 1125$ см$^{-1}$, $\omega_3 = 234O$ см$^{-1}$, которые и являются величиной комбинационного сдвига для молекулы PH_3 [3].

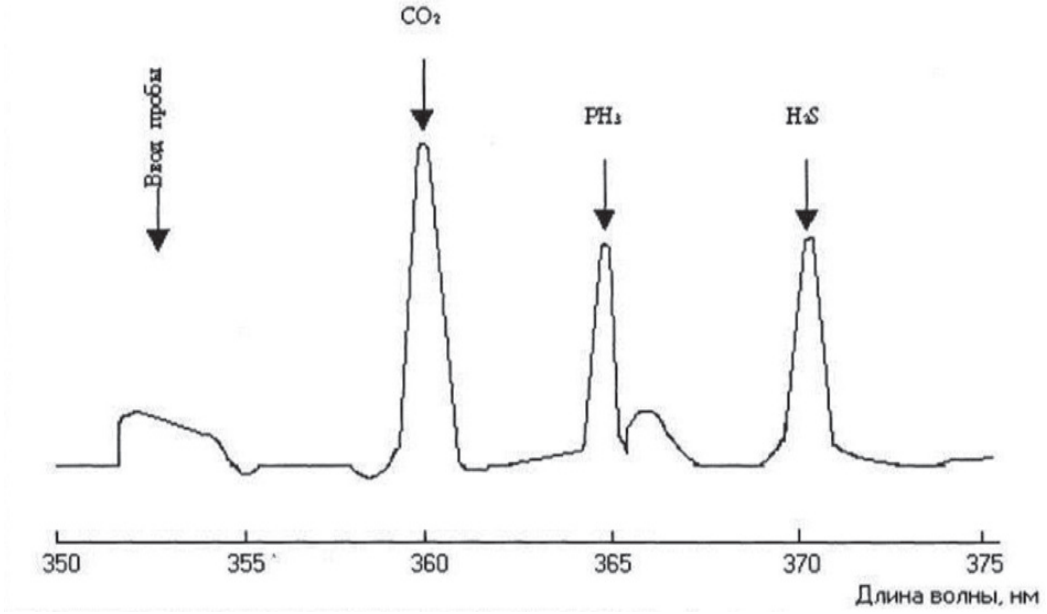

Рис. 2. Спектры PH3 и H_2S, полученные на хроматографе ЛХМ-72

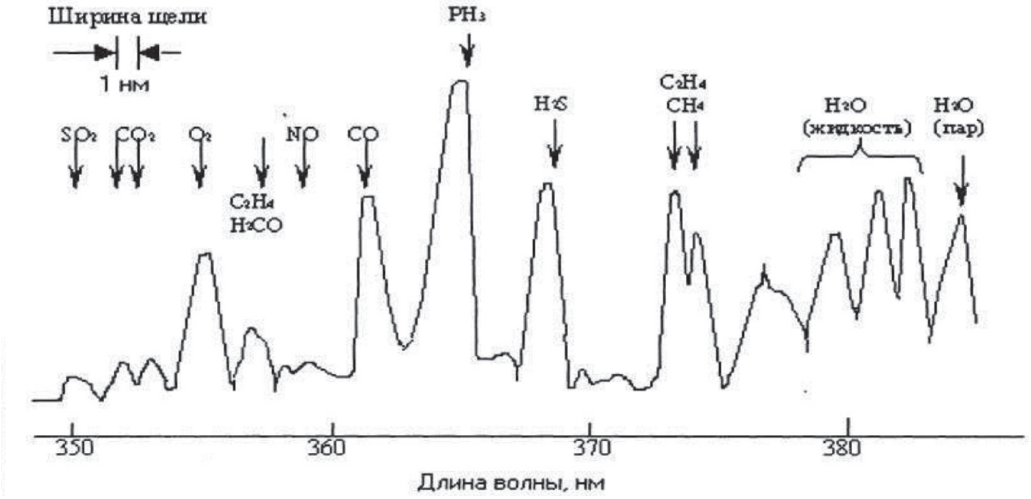

Рис. 3. Спектр комбинационного рассеяния загрязненной атмосферы

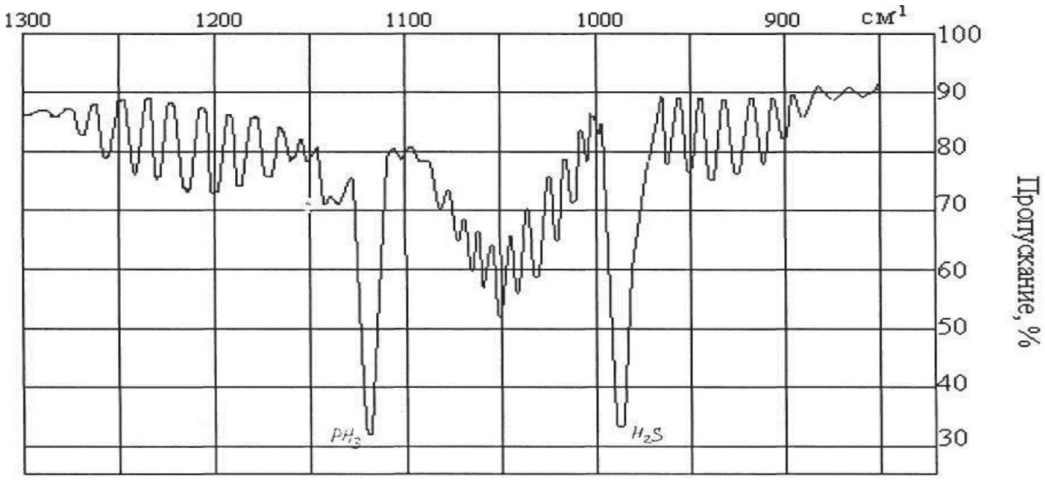

Рис. 4. Инфракрасный спектр (ИКС) фосфина и сероводорода

В ходе работы было установлено, что фтористый водород (HF), являющийся загрязняющим компонентом воздушной среды АО «Химпром», очень агрессивно воздействует на приемную оптику макета индикатора (МИ) (снижается коэффициент пропускания приемной оптики) и дифракционные решетки двойного монохроматора (особенно на реплики, покрытые алюминием).

Узкополосные фильтры, предназначенные для выделения линий комбинационного рассеяния загрязнителей, также подвергаются воздействию HF. Все это значительно ухудшает чувствительность МИ и увеличивает фоновую засветку сигнала. Кроме того, при наличии в атмосфере дымки или тумана, дождя или снегопада наблюдается заметное снижение величины отношения сигнал/шум, обусловленное релеевским рассеянием. Поэтому для работы в таких условиях нужно переходить к тройной монохроматизации [4, 5].

Анализ некоторых загрязнителей желательно проводить в инфракрасной области, в так называемых окнах прозрачности атмосферы (например: 2-2,5 мкм для CO_2, 3,5-4 мкм для H_2S, HF и т.д.). Для таких целей применение ФЭУ весьма ограничено, поэтому возникла необходимость в приобретении фотовольтаического приемника на основе антимонида индия (InSb) ФПУ-31, предназначенного для работы в ИК – области. Ограниченность диапазона работы ФПУ (до 5 мкм), а также необходимость постоянного охлаждения ФПУ (до196 °C) не

позволяют в полной мере использовать его в качестве фотодетектора в измерительной схеме МИ.

Диапазон работы ФПУ ограничен из-за того, что входное окошко ФПУ сделано из сапфира, который пропускает ИК – излучение длиной волны до 5 мкм. Аналогичные ФПУ, но с боллее широким диапазоном (32 канала) работы (до 15 мкм) (ФПУ 31) [3].

Нами получены результаты по определению соединения фосфора и фтора (P_4, P_2O_5, HF, PH_3 и др.) на макете индикатора в ИК – области спектра с применением лазеров с непрерывными и импульсными излучениями (рис. 4).

Таким образом, для более эффективного контроля загрязнения воздушного бассейна санитарной зоны и производственных помещений необходимо использовать физические методы, а именно, дистанционные методы контроля с применением лазеров в ИК – области спектра.

Список литературы

1. Абдула Ж., Мамытбеков Е., Сатаев Л. Оптические методы контроля загрязнения атмосферы с применением лазерного излучения. Труды 7-й Международной научно-практической конференции., КазНТУ им. Сатпаева. – Алматы, 2005. – Т. I. – С. 101–107.

2. Перегуд Е.А. и др. Быстрые методы определения вредных веществ в воздухе. Москва, Химия, 1970 г.

3. Абдула Ж. «Ядерно-физические методыисследования аэрозольных загрязнений атмосферы». Труды Международной научной конференции. – Тараз, 2007. – Т. 10. – С. 9–13.

4. Гурман В.И. «Вырожденные задачи оптимального управления», Москва, «Наука», 1987 г.

5. Пененко В.В., Алоян А.Е. «Модели и методы для задач охраны окружающей среды», Новосибирск, «Наука», 1985. – 256 с.