

03;15

Оптоэлектронный двухволновый метод для дистанционного контроля содержания метана в атмосфере

© С.М. Абдурахмонов, О.Х. Кулдашов, И.Т. Тожибоев[¶], Б.Х. Тургунов

Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий им. Мухаммад аль-Харезми, Фергана, Узбекистан

[¶] E-mail: ibroxim@gmail.com

Поступило в Редакцию 14 ноября 2018 г.

В окончательной редакции 14 ноября 2018 г.

Принято к публикации 16 ноября 2018 г.

Предложен оптоэлектронный двухволновый метод и представлена блок-схема оптоэлектронного устройства для дистанционного контроля содержания метана в атмосфере. В оптоэлектронном устройстве в качестве излучающего диода на опорной длине волны использованы светодиоды на основе GaAlAsSb/GaInAsSb/GaAlAsSb (3.12 μm), а в качестве излучающего диода на измерительной длине волны — светодиоды на основе GaAlAsSb/GaInAsSb/GaAlAsSb (3.39 μm).

DOI: 10.21883/PJTF.2019.04.47328.17590

Метан (CH_4) — один из важных для человечества естественных газов [1]. Концентрация метана формируется в результате биохимических, геохимических и антропогенных процессов. Метан является третьим (после CO_2 и H_2O) по важности „парниковым“ газом.

Метан — наиболее важный представитель органических веществ в атмосфере. Увеличение содержания метана в атмосфере способствует усилению парникового эффекта, так как метан интенсивно поглощает тепловое излучение Земли.

Метан в смеси с воздухом горит и взрывается. В зависимости от соотношения концентраций метана и кислорода в воздухе возможны различные виды их реакций при взрыве.

Естественные и антропогенные факторы вызывают необходимость постоянного слежения за ростом и изменениями концентрации приземного метана [2]. Измерения концентрации атмосферного метана проводятся давно. Разработано множество приборов, основанных на различных принципах измерений: диодные лазеры, твердотельные и газовые лазеры, параметрические генераторы, спектрометрические и фурье-спектрометры [3].

Задача настоящей работы состоит в создании простого по конструкции устройства — детектора метана, обладающего высокой точностью измерения его концентрации.

Предложен оптоэлектронный двухволновый метод для контроля содержания метана в атмосфере, принцип действия которого заключается в следующем: контролируемый объект облучается двумя противофазными прямоугольными последовательностями импульсов с длинами волн, лежащими в максимуме поглощения контролируемым компонентом (измерительной) и в не максимуме поглощения этим компонентом (опорной).

При этом в случае использования коллимированных потоков излучения достигающий поверхности контроли-

руемого объекта поток излучения определяется как

$$\Phi'_{0\lambda_1} = \omega_{\lambda_1} \Phi_{0\lambda_1}, \quad (1)$$

$$\Phi'_{0\lambda_2} = \omega_{\lambda_2} \Phi_{0\lambda_2}, \quad (2)$$

где ω_{λ_1} и ω_{λ_2} — коэффициенты пропускания атмосферы на опорных и измерительных длинах волн соответственно.

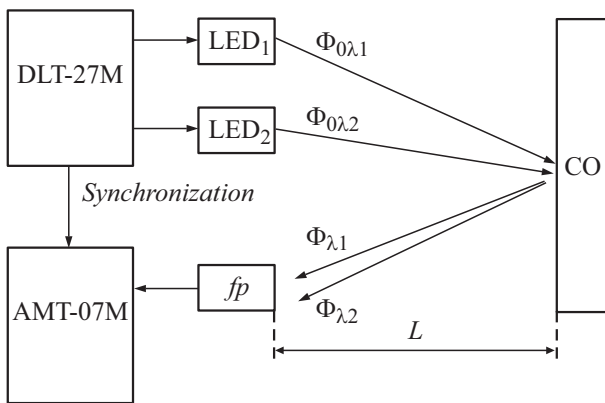
Отраженные от поверхности объекта контроля потоки излучения на опорных и измерительных длинах волн проходят дистанцию L и воспринимаются одним и тем же приемником излучения. Тогда достигающие поверхности приемника излучений потоки определяются как

$$\Phi_{\lambda_1} = \gamma_{\lambda_1} I_{0\lambda_1} \frac{S_{fp}}{L^2} e^{-k_1 N_1}, \quad (3)$$

$$\Phi_{\lambda_2} = \gamma_{\lambda_2} I_{0\lambda_2} \frac{S_{fp}}{L^2} e^{-k_2 N_1} e^{-k_3 N_2}, \quad (4)$$

где γ_{λ_1} и γ_{λ_2} — коэффициенты отражения объекта контроля на опорных и измерительных длинах волн соответственно; $I_{0\lambda_1}$ и $I_{0\lambda_2}$ — интенсивности отраженного от поверхности контролируемого объекта потока излучения на опорных и измерительных длинах волн соответственно; S_{fp} — площадь входного зрачка приемника излучения; L — расстояние, на котором проводится контроль; k_1 и k_2 — коэффициенты рассеяния объекта контроля на длинах волн λ_1 и λ_2 соответственно; N_1 — суммарная концентрация газообразных веществ в объекте контроля; N_2 — концентрация определяемого газообразного вещества.

В оптоэлектронных устройствах с функциональной разверткой амплитуда одного из потоков излучения (например, измерительного) поддерживается постоянной, а амплитуда другого потока модулируется во времени по экспоненциальному закону.



Блок-схема оптоэлектронного устройства для дистанционного контроля содержания метана в атмосфере. DLT-27M — источник питания для светодиодов с термохолодильником, AMT-07M — усилитель с термохолодильником, LED₁ — светодиод, излучающий на опорной длине волны (3.12 μm), LED₂ — светодиод, излучающий на измерительной длине волны (3.39 μm), fp — фотодиод серии PD36, CO — контролируемый объект.

Пусть амплитуда опорного потока излучения изменяется по спадающему экспоненциальному закону, т. е.

$$\Phi_{0\lambda_1} = A e^{-t/\tau}, \quad (5)$$

где A — амплитуда начального потока излучения на опорных длинах волн; t — текущее время экспоненты; τ — постоянная времени экспоненты.

Тогда с учетом изложенного выше выражение (5) имеет вид

$$\Phi_{\lambda_1} = A \gamma_{\lambda_1} I_{0\lambda_1} \frac{S_{fp}}{L^2} e^{-k_1 N_1} e^{-t/\tau}. \quad (6)$$

Приравнявая потоки $\Phi_{\lambda_1} = \Phi_{\lambda_2}$, получим

$$A \gamma_{\lambda_1} \frac{S_{fp}}{L^2} e^{-k_1 N_1} e^{-t_{comp}/\tau} = \gamma_{\lambda_2} I_{0\lambda_2} \frac{S_{fp}}{L^2} e^{-k_2 N_2} e^{-k_3 N_2}, \quad (7)$$

где t_{comp} — момент сравнения потоков Φ_{λ_1} и Φ_{λ_2} .

Если длина волны опорного потока излучения выбрана достаточно близкой к длине волны измерительного потока, то можно считать, что $\gamma_{\lambda_1} = \gamma_{\lambda_2}$, $k_1 = k_2$.

Чтобы получить значение контролируемого параметра, предварительно выравниваем начальные значения потоков. Тогда при условии равных начальных потоков излучения опорного и измерительного потоков имеем

$$e^{-t_{comp}/\tau} = e^{-k_3 N_2} \quad (8)$$

или

$$N_2 = \frac{1}{k_2 \tau} t_{comp}. \quad (9)$$

Из последнего выражения видно, что концентрация определяемого газообразного вещества пропорциональна времени сравнения t_{comp} , так как $1/k_2 \tau$ является постоянной величиной.

На основе двухволнового метода нами было разработано оптоэлектронное устройство для дистанционного контроля взрывоопасных концентраций углеводородов, скопленных в атмосфере.

Блок-схема оптоэлектронного устройства для дистанционного контроля концентрации метана в атмосфере приведена на рисунке.

В оптоэлектронном устройстве в качестве излучающего диода на опорной длине волны использованы светодиоды на основе GaAlAsSb/GaInAsSb/GaAlAsSb (3.12 μm), а в качестве излучающего диода на измерительной длине волны — светодиоды на основе GaAlAsSb/GaInAsSb/GaAlAsSb (3.39 μm) [4], которые имели следующие преимущества:

- ширина спектра светодиодов (0.5 μm) сравнима с шириной полос поглощения газов, поэтому нет необходимости в использовании дополнительных фильтров;
- существенно более низкая потребляемая электрическая мощность;
- время жизни 80 000–100 000 h непрерывной работы (более чем на порядок превышает время жизни тепловых источников).

Список литературы

- [1] Karol I.L. The methane cycle // NATO ASI Ser. 1993. V. 18. 153 p.
- [2] Werle P., Slemr F., Maurer K., Kormann R., Mücke R., Jänker B. // Opt. Laser. Eng. 2002. V. 37. N 2-3. P. 101–114.
- [3] Richter D., Lancaster D.G., Tittel F.K. // Appl. Opt. 2000. V. 39. N 24. P. 4444–4450.
- [4] Журтанов Б.Е., Иванов Э.В., Именков А.Н., Колчанова Н.М., Розов А.Е., Стоянов Н.Д., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 5. С. 1–7.