

*Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 2 (142). С. 158-164. ISSN 1998-8443 (print)*

*Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2023. Issue 2 (142). P. 158-164. ISSN 1998-8443 (print)*

Научная статья

УДК 535.362

doi: 10.17122/ntj-oil-2023-2-158-164

EDN: EGVUMR

## ВОПРОСЫ ЛИДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В РЕГИОНАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ ПЛАТФОРМЕННЫМ МЕТОДОМ

**Имран Гара оглы Чобанзаде**

Национальное аэрокосмическое агентство, Баку, Азербайджанская Республика  
asadzade@rambler.ru

**Аннотация.** Проанализированы вопросы проведения лидарных измерений концентрации метана в зонах функционирования платформ нефтедобычи. Рассмотрен вопрос о проведении повторной калибровки лидара при измерениях метана в зонах функционирования нефтяных платформ в условиях ветра. Отмечается, что при ветре из-за низкой эффективности сгорания газа в факелах часть метана не сгорает и распространяется в атмосфере.

Отмечено, что при наличии встречного ветра в сторону измерителя наблюдается рост концентрации не только метана, но и аэрозоля. При этом возникает необходимость повторной калибровки лидара по аэрозолю, используя соответствующие показания солнечного фотометра.

---

---

**Ключевые слова:** лидар, солнечный фотометр, калибровка, аэрозоль, метан

---

---

**Для цитирования:** Чобанзаде И. Х. Вопросы лидарных измерений концентрации метана в регионах нефтегазодобычи платформенным методом // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 2 (142). С. 158-164. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-2-158-164>.

---

© Чобанзаде И. Х., 2023

---

---

Original article

## LIDAR MEASUREMENTS OF METHANE CONCENTRATION IN OIL AND GAS PRODUCTION REGIONS BY PLATFORM METHOD

Imran G. Chobanzade

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic  
asadzade@rambler.ru

**Abstract.** The issues of carrying out lidar measurements of methane concentration in oil production platform operation zones are analyzed. The issue of lidar re-calibration during methane measurements in the areas of oil platform operation zones in wind conditions is considered. It is noted that due to the low efficiency of gas flares, part of the methane does not burn and spreads in the atmosphere by wind.

It is noted that in the presence of a head-wind towards the meter, an increase in the concentration of not only methane, but also aerosol is observed. In this case, it becomes necessary to re-calibrate lidar for aerosol using the corresponding solar photometer readings.

---

---

**Keywords:** lidar, solar photometer, calibration, aerosol, methane

---

---

**For citation:** Chobanzade I. Kh. Voprosy lidarnykh izmerenii kontsentratsii metana v regionakh neftegazodobychi platformnym metodom [Lidar Measurements of Methane Concentration in Oil and Gas Production Regions by Platform Method]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2023, Issue 2 (142), pp. 158-164. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-2-158-164>.

### *Введение*

Как отмечается в работе [1], основными источниками эмиссии метана в воздух являются: производственные цистерны (24 %), пневматическое оборудование (20 %), компрессоры (15 %) и газовые факелы (13 %).

Вместе с тем, исследования, проведенные в [2], показали, что газовые факелы являются вторым по значимости источником эмиссии метана в воздух.

Данные наблюдений за источниками эмиссии метана, полученные с борта самолета [1], показали, что общий характер распре-

деления количества источников по уровню эмиссии носит лог-нормальный характер (рисунок 1), в то время как кумулятивный показатель неуклонно растет.

Согласно [3], каждый год в атмосферу выбрасывается 17,5 Тг неметановых летучих органических соединений со стороны производств по распределению и производству топлива. Из них 30 % попадает на долю нефтеперерабатывающих заводов.

Как отмечается в работе [3], углеводородные газы могут быть исследованы, используя лидары по флуоресцентному методу, либо используя механизм рассеяния Рамана, а также технологию DIAL.

Основное преимущество использования механизма рассеяния Рамана заключается в том, что каждая молекула различных

газов имеет специфическую величину смещения спектра. При этом амплитуда спектра Рамана также пропорциональна концентрации молекул этого газа. При использовании DIAL метода для толуола используют длины волн 266,9 и 266,1 нм; для бензола 252,9 и 252,0 нм.

Таким образом, универсальный лазерный измеритель, используемый для исследования загрязнения воздуха углеводородными газами, может иметь следующие каналы:

1. 266,355 нм для DIAL измерений;
2. то же для измерений по спектру Рамана;
3. то же для флуоресцентных измерений.

Общая характеристика лидара показана на рисунке 2.

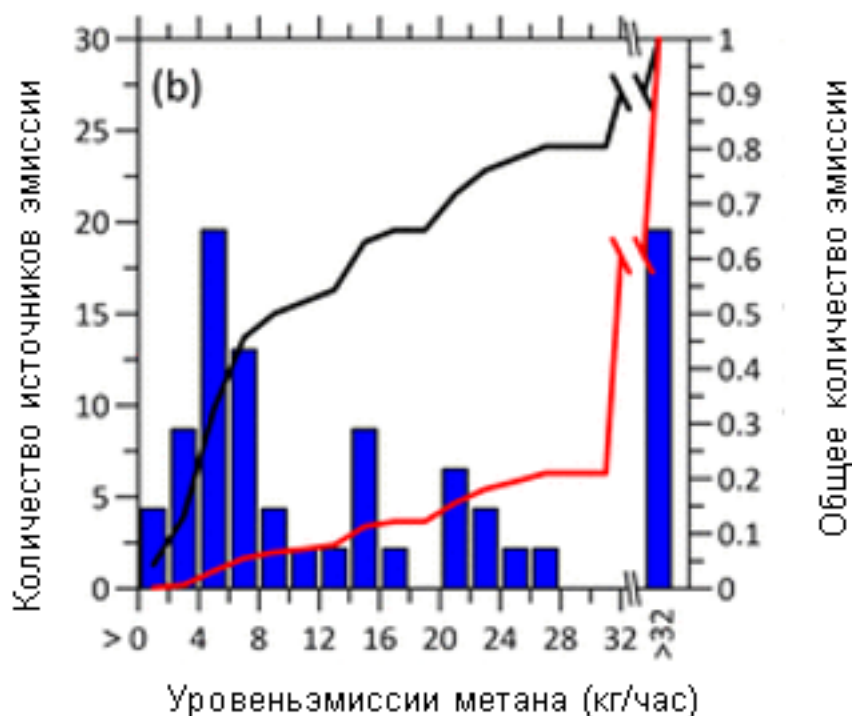


Рисунок 1. Кривые статистических показателей эмиссии метана в воздух

Figure 1. Curves of statistical indicators of methane emission into the air

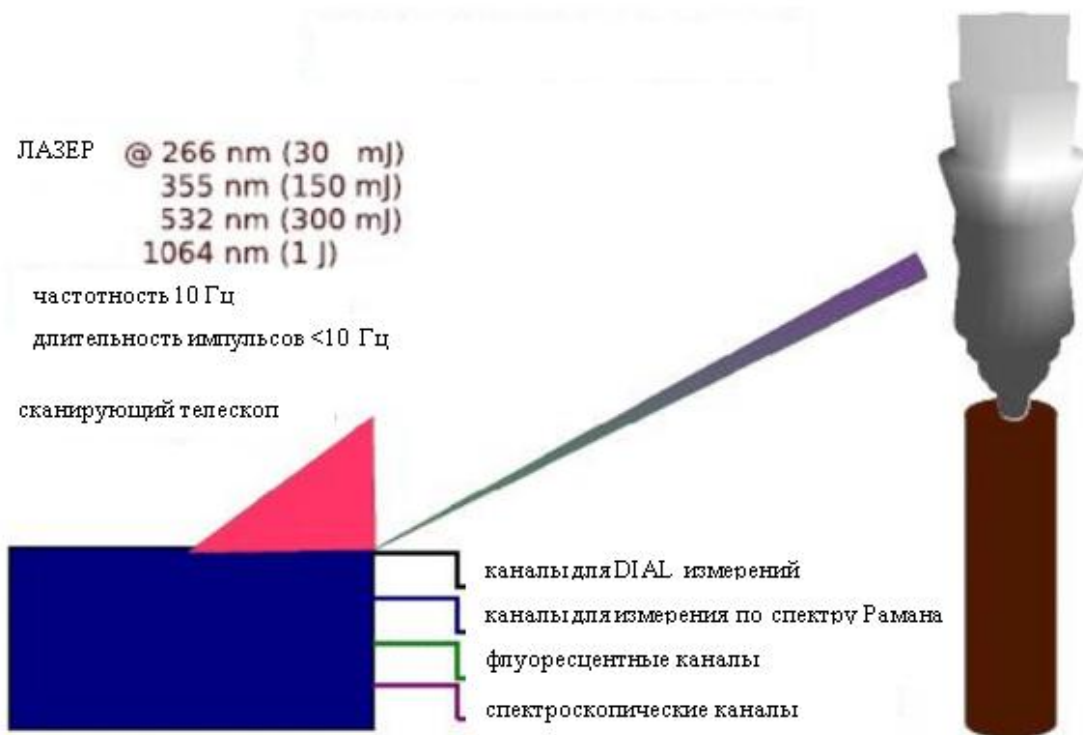


Рисунок 2. Общая характеристика лидара, используемого для исследования загрязненности воздуха углеводородными газами

Figure 2. Lidar general characteristics to study air polluted with hydrocarbon gases

#### Методика лидарных измерений

В общем случае методика лидарных измерений базируется на уравнении лидара [4]:

$$P_{\lambda}(z) = \frac{c}{z^2} \beta(\lambda, z) \exp\left[-\int_0^z (\sigma_{\lambda} N(z) + \alpha(\lambda, z)) dz\right], \quad (1)$$

где  $c$  - энергия эмитируемого импульса;

$\beta(\lambda, z)$  - часть рассеянной энергии импульса на выходе телескопа;

$\alpha(\lambda, z)$  - показатель ослабления сигнала из-за рассеяния;

$\sigma_{\lambda}$  - поперечное сечение поглощения газа;

$N$  - концентрация газа.

Для калибровки лидара обычно используются солнечные фотометры. При этом используется тот канал измерения фотометра, который соответствует длине волны поглощения исследуемого газа. В целом, работа солнечного фотометра основывается на уравнении Бугера-Бура, который имеет вид:

$$I_b(\lambda) = I_0(\lambda) \exp\left[-(N \cdot \sigma(-\lambda) + \tau_{aer}(\lambda))\right], \quad (2)$$

где  $I_0(\lambda)$  - солнечная оптическая радиация на внешней границе атмосферы;

$I_b(\lambda)$  - солнечная радиация на входе фотометра;

$\tau_{aer}(\lambda)$  - оптическая толщина атмосферного аэрозоля.

Если показатель  $z$  взять достаточно большим, то показатели в экспоненциальных членах (1) и (2) практически выравниваются. Из выражения (2) находим:

$$N \cdot \sigma(\lambda) + \tau_{aer}(\lambda) = \ln \frac{I_0(\lambda)}{C_1 I_b(\lambda)}, \quad (3)$$

где  $C_1$  - коэффициент калибровки фотометра.

С учетом (1) и (3) получаем:

$$P_\lambda(z) = \frac{c}{z^2} \beta(\lambda, z) \cdot C_1 \frac{I_b(\lambda)}{I_0(\lambda)}. \quad (4)$$

Вместе с тем, если в солнечном фотометре отсутствует канал с длиной волны, соответствующей длине волны поглощения измеряемого газа, калибровка осуществляется только по аэрозолю. Из выражения (3) для длины волны  $\lambda_1 = \lambda + \Delta\lambda$ , где  $\Delta$  - необходимое смещение для выхода из контура поглощения газа, находим:

$$\tau_{aer}(\lambda_1) = \ln \frac{I_0(\lambda_1)}{C_1 I_b(\lambda_1)} - N \cdot \sigma(\lambda_1). \quad (5)$$

Выражение (1) можно показать в следующем виде:

$$P_\lambda(z) = \frac{c}{z^2} \beta(\lambda, z) \exp\left[-\int_0^z \sigma_\lambda N(z) dz\right] \cdot \exp\left[-\int_0^z \alpha(\lambda_1, z) dz\right]. \quad (6)$$

Учитывая, что

$$\tau_{aer}(\lambda_1) = \int_0^z \alpha(\lambda_1, z) dz, \quad (7)$$

из (6) и (7) получим:

$$P_\lambda(z) = \frac{c}{z^2} \beta(\lambda, z) \exp\left[-\int_0^z \sigma_\lambda N(z) dz\right] \cdot p[-\tau_{aer}(\lambda_1)]. \quad (8)$$

В общем случае  $N(z)$  и  $\tau_{aer}(\lambda_1)$  являются некоррелированными величинами. Однако вблизи нефтяных платформ вполне вероятен случай, когда между указанными величинами будет существовать сильная корреляция. Например, в работе [5] изложены результаты измерения концентрации метана в зоне функционирования нефтяной платформы в Северном море при наличии ветра скоростью 5 м/с (рисунок 3).

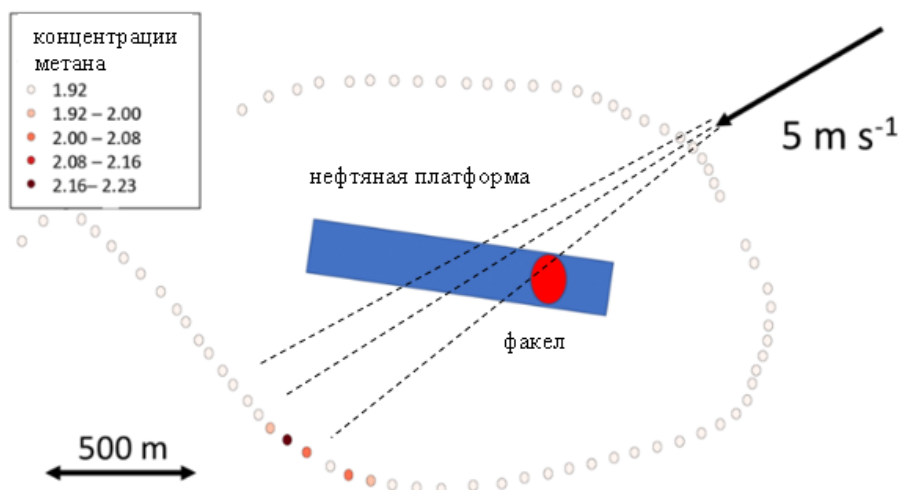


Рисунок 3. Общая схема проведения лидарных измерений метана вблизи нефтяных платформ при ветре 5 м/с

Figure 3. General scheme of lidar measurements of methane near oil platforms at a wind of 5 m/s

Как видно из схемы лидарного измерения метана, вблизи нефтяной платформы, показанной на рисунке 3, в окрестности  $\approx 1$  км от факела в направлении ветра было обнаружено значительное увеличение концентрации метана.

Прирост концентрации метана, согласно данным, приведенным на рисунке 3, составил:

$$\delta, \% = \frac{2,23-1,92}{1,92} \cdot 100 \% \approx 15 \% \quad (9)$$

При этом, если учесть, что в направлении ветра следует ожидать не только привнесение метана, но и аэрозоля, являющегося продуктом сгорания углеводородов, то естественно ожидать существенное увеличение концентрации аэрозоля в зоне измерений. Следовательно, актуализируется вопрос о повторной, дополнительной калибровке лидара. Прежде всего отметим, что, в отличие от солнечного фотометра, лидар калибруется не на постоянный природный показатель (у солнечного фотометра - это солнечная постоянная или внеатмосферный солнечный поток на выбранной толщине аэрозоля). Следовательно, прежнее значение оптической толщины аэрозоля должно быть заменено соответствующим показанием солнечного фотометра, используемого для повторной калибровки лидара. Повторяя вышеприведенные логические рассуждения применительно к привнесенному ветром аэрозолю, показание лидара определим аналогично (8):

$$P_{\lambda}(z)_1 = \frac{C}{z^2} \beta(\lambda, z) \exp \left[ - \int_0^z \sigma_{\lambda} N(z) + \Delta N(z) dz \right] \times \exp[-\tau_{aer}(\lambda_1)] \cdot \exp[-\Delta\tau_{aer}], \quad (10)$$

где  $\Delta\tau_{aer}$  - дополнительный прирост оптической толщины аэрозоля в зоне измерений из-за привнесения аэрозольных частиц, генерированных факелом встречным ветром;

$\Delta N(z)$  - приращение концентрации метана по той же причине.

### Выводы

Рассмотрен вопрос о проведении лидарных измерений метана в зонах функционирования нефтяных платформ. Указано, что из-за низкой эффективности сгорания газа в факелах часть метана не сгорает и распространяется по направлению ветра.

Обычно при проведении лидарных измерений осуществляется калибровка лидара путем проведения дополнительных солнечно-фотометрических измерений на длине волны, наиболее близкой к длине волны лидара, где отсутствуют линии поглощения каких либо газов, и далее полученный результат используется при обработке результатов лидарных измерений.

Отмечено, что при наличии встречного ветра в сторону измерителя, проходящего через зону факела, наблюдается рост измеряемых величин концентраций метана и аэрозоля, что приводит к необходимости проведения дополнительной калибровки лидара по аэрозолю, используя соответствующие показания солнечного фотометра.

### Список источников

1. Tyner D.R., Johnson M.R. Where the Methane Is Insights from Novel Airborne Lidar Measurements Combined with Ground Survey Data // *Environmental Science and Technology*. 2021. Vol. 55, Issue 14. P. 9773-9783. DOI: 10.1021/acs.est.1c01572.
2. Lyon D.R., Hmiel B., Gautam R., Omara M., Roberts K., Barkley Z.R., Davis K.J., Miles N.L., Monteiro V.C., Richardson S.J., Conley S.A., Smith M.L., Jacob D.J., Shen L., Varon D.J., Deng A., Rudelis X., Sharma N., Story K.T., Brandt A.R., Kang M., Kort E.A., Marchese A.J., Hamburg S.P. Concur-

### References

1. Tyner D.R., Johnson M.R. Where the Methane Is Insights from Novel Airborne Lidar Measurements Combined with Ground Survey Data. *Environmental Science and Technology*, 2021, Vol. 55, Issue 14, pp. 9773-9783. DOI: 10.1021/acs.est.1c01572.
2. Lyon D.R., Hmiel B., Gautam R., Omara M., Roberts K., Barkley Z.R., Davis K.J., Miles N.L., Monteiro V.C., Richardson S.J., Conley S.A., Smith M.L., Jacob D.J., Shen L., Varon D.J., Deng A., Rudelis X., Sharma N., Story K.T., Brandt A.R., Kang M., Kort E.A., Marchese A.J., Hamburg S.P. Concur-

rent Variation in Oil and Gas Methane Emissions and Oil Price During the COVID-19 Pandemic // *Atmospheric Chemistry and Physics. Discussions*. 2021. DOI: 10.5194/acp-2020-1175.

3. Steffens J., Landulfo E., Guardani R., Nascimento C.A.O., Moreira A. The Use of Lidar as Optical Remote Sensors in the Assessment of Air Quality near Oil Refineries and Petrochemical Sites // *Proceedings SPIE Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing IV*. Cardiff, Wales, United Kingdom, 2008. Vol. 7111. Paper No. 71110S. DOI: 10.1117/12.800227.

4. Aggarwal M., White J., Seabrook J., Gray L., Strawbridge K., Liu P., Obrien J., Li S., McLaren R. Airborne Lidar Measurements of Aerosol and Ozone above the Canadian Oil Sands Region // *Atmospheric Measurement Techniques*. 2018. Vol. 11, Issue 6. P. 3829-3849. DOI: 10.5194/amt-11-3829-2018.

5. Riddick S.N., Mauzerall D.L., Harris N.R.P., Allen G., Pitt J., Sykes J.S., Forster G.L., Kang M., Lowry D., Nisbet E.G., Manning A.J. Measuring Methane Emissions from Oil and Gas Platforms in the North Sea // *Atmospheric Chemistry and Physics. Discussions*. 2019. DOI: 10.5194/acp-2019-90.

rent Variation in Oil and Gas Methane Emissions and Oil Price During the COVID-19 Pandemic. *Atmospheric Chemistry and Physics. Discussions*, 2021. DOI: 10.5194/acp-2020-1175.

3. Steffens J., Landulfo E., Guardani R., Nascimento C.A.O., Moreira A. The Use of Lidar as Optical Remote Sensors in the Assessment of Air Quality near Oil Refineries and Petrochemical Sites. *Proceedings SPIE Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing IV*. Cardiff, Wales, United Kingdom, 2008, Vol. 7111, Paper No. 71110S. DOI: 10.1117/12.800227.

4. Aggarwal M., White J., Seabrook J., Gray L., Strawbridge K., Liu P., Obrien J., Li S., McLaren R. Airborne Lidar Measurements of Aerosol and Ozone above the Canadian Oil Sands Region. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2018, Vol. 11, Issue 6, pp. 3829-3849. DOI: 10.5194/amt-11-3829-2018.

5. Riddick S.N., Mauzerall D.L., Harris N.R.P., Allen G., Pitt J., Sykes J.S., Forster G.L., Kang M., Lowry D., Nisbet E.G., Manning A.J. Measuring Methane Emissions from Oil and Gas Platforms in the North Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics. Discussions*, 2019. DOI: 10.5194/acp-2019-90.

#### Информация об авторе

• Чобанзаде Имран Гара оглы  
Национальное аэрокосмическое агентство  
Диссертант НИИ Космических исследований  
природных ресурсов  
Азербайджанская Республика, AZ1115, Баку,  
ул. С.С. Ахундова, 1  
e-mail: asadzade@rambler.ru

#### Information about the author

• Chobanzade Imran G.  
National Aerospace Agency  
Post-Graduate Student of the Research Institute  
of Space Research of Natural Resources  
1, S.S. Akhundov str., Baku, AZ1115, Azerbaijan  
Republic  
e-mail: asadzade@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 30.08.2022; одобрена после рецензирования 16.09.2022; принята к публикации 01.03.2023.

The article was submitted 30.08.2022; approved after reviewing 16.09.2022; accepted for publication 01.03.2023.