



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01N 21/39 (2022.02)

(21)(22) Заявка: 2021125369, 27.08.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.08.2021

Дата регистрации:  
05.05.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.08.2021

(45) Опубликовано: 05.05.2022 Бюл. № 13

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, кор. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦИС, для Белова  
(НИИ РЛ)

(72) Автор(ы):

Барышников Николай Васильевич (RU),  
Белов Михаил Леонидович (RU),  
Городничев Виктор Александрович (RU),  
Титаренко Кристина Сергеевна (RU),  
Федотов Юрий Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский государственный  
технический университет имени Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский  
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

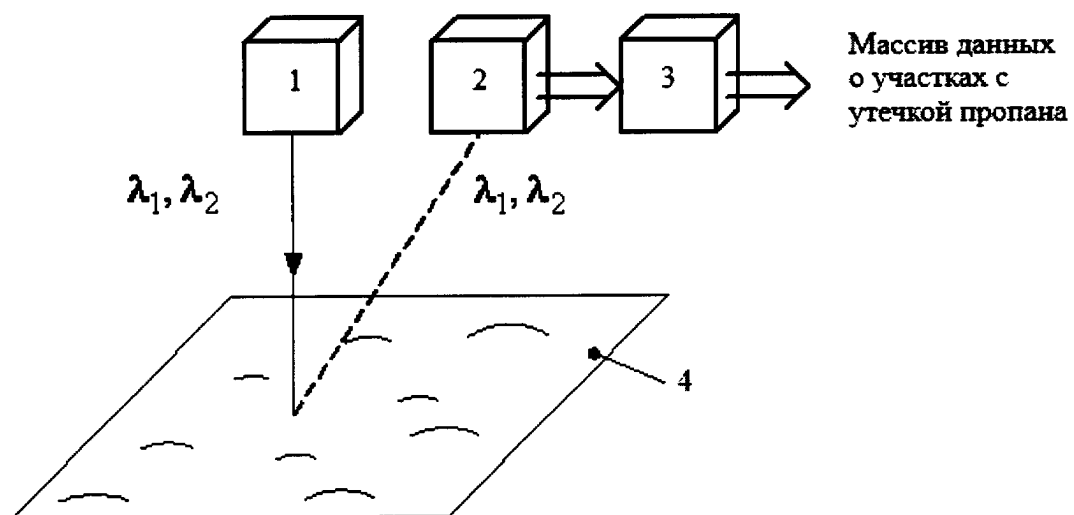
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2073816 C1, 20.02.1997. RU  
2086959 C1, 10.08.1997. RU 2461815 C2,  
20.09.2012. RU 2091759 C1, 27.09.1997. RU 64779  
U1, 10.07.2007.

(54) Дистанционный способ обнаружения утечек пропана

(57) Реферат:

Изобретение относится к газоанализу, а именно к обнаружению утечек пропана или ШФЛУ из магистральных трубопроводов с помощью приборов, устанавливаемых на борт летательных аппаратов. Дистанционный способ обнаружения утечек пропана включает регистрацию отраженного излучения, прошедшего слой пропана, на двух лазерных длинах волн. При этом используется лазерное зондирование с авиационного носителя на длинах волн  $\lambda_1=13\ 080$  и  $\lambda_2=12\ 190$  нм, для которых

атмосферные газы практически не вызывают поглощения излучения (для их концентраций, характерных для земной атмосферы). Способ основан на регистрации отраженного от топографического отражателя (например, земной поверхности) лазерного излучения на длинах волн 13 080 и 12 190 нм и позволяет проводить мониторинг независимо от времени суток и в широком диапазоне концентраций водяного пара. Достигается возможность обнаружения утечек пропана из трубопроводов. 4 ил., 2 табл.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01N 21/39* (2022.02)

(21)(22) Application: **2021125369, 27.08.2021**

(24) Effective date for property rights:  
**27.08.2021**

Registration date:  
**05.05.2022**

Priority:

(22) Date of filing: **27.08.2021**

(45) Date of publication: **05.05.2022** Bull. № 13

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, kor. 1,  
MGТУ im. N.E. Baumana, TSIS, dlya Belova (NII  
RL)**

(72) Inventor(s):

**Baryshnikov Nikolaj Vasilevich (RU),  
Belov Mikhail Leonidovich (RU),  
Gorodnichev Viktor Aleksandrovich (RU),  
Titarenko Kristina Sergeevna (RU),  
Fedotov Yuriy Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj  
tekhnicheskij universitet imeni N.E. Baumana  
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)"  
(MGТУ im. N.E. Baumana) (RU)**

(54) **REMOTE DETECTION OF PROPANE LEAKS**

(57) Abstract:

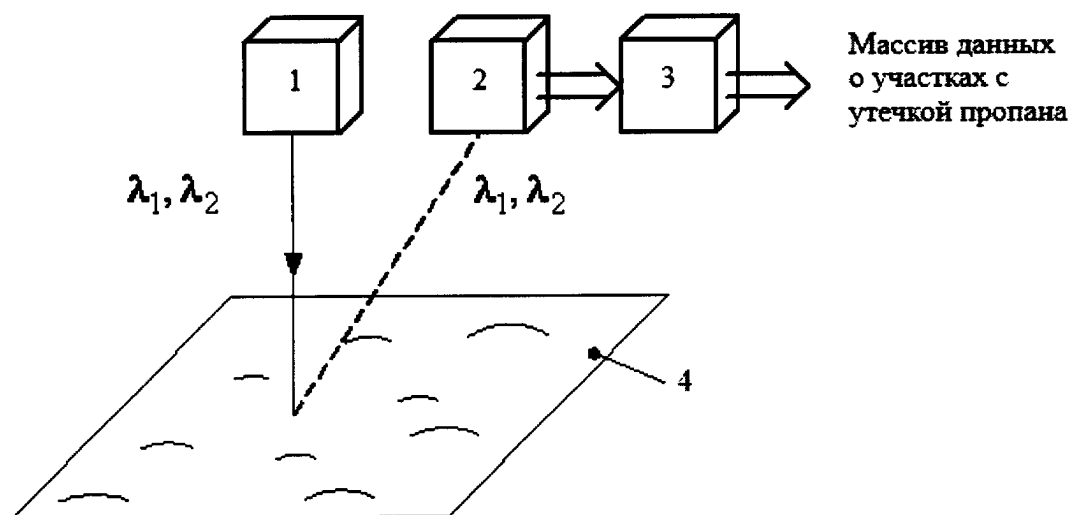
FIELD: gas analysis.

SUBSTANCE: invention relates to gas analysis, namely to the detection of propane or NGL leaks from main pipelines using instruments installed on board aircraft. The remote method for detecting propane leaks includes registering the reflected radiation that has passed through the propane layer at two laser wavelengths. In this case, laser sounding from an aircraft carrier is used at wavelengths  $\lambda_1=13\ 080$  and  $\lambda_2=12\ 190$  nm, for which atmospheric gases practically

do not cause radiation absorption (for their concentrations characteristic of the earth's atmosphere). The method is based on registration of laser radiation reflected from a topographic reflector (for example, the earth's surface) at wavelengths of 13080 and 12190 nm and allows monitoring regardless of the time of day and in a wide range of water vapor concentrations.

EFFECT: possibility of detecting propane leaks from pipelines is achieved.

1 cl, 4 dwg, 2 tbl



Фиг.1

Область техники

Изобретение относится к газоанализу, а именно к обнаружению утечек пропана или ШФЛУ из магистральных трубопроводов с помощью приборов, устанавливаемых на борт летательных аппаратов.

Уровень техники

Пропан ( $C_3H_8$ ) - один из основных компонент широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ), которая является продуктом переработки попутного нефтяного газа и газового конденсата. ШФЛУ относится к сжиженным углеводородным газам и представляет собой легкокипящую и легковоспламеняющуюся, пожаро- и взрывоопасную жидкость.

Большой объем ШФЛУ транспортируется до нефтехимических предприятий по трубопроводам. Утечки таких трубопроводов приносят не только экономические потери, но и чрезвычайно опасны.

Контроль за трубопроводами, транспортирующими ШФЛУ, осуществляется с помощью внутритрубных датчиков давления. Однако, они неэффективны для обнаружения утечек небольшой интенсивности.

Оптические методы являются наиболее перспективными для оперативного обнаружения утечек газопроводов и газоанализа загрязнений атмосферы.

В настоящее время разработаны оптические детекторы для контроля утечек пропана (см., например, [1-3]).

Известны также способы и устройства для дистанционного обнаружения утечек пропана [4-8].

Среди процессов взаимодействия лазерного излучения с газами, которые используют для обнаружения утечек газов, наибольшее сечение имеет эффект поглощения.

Обычно в лидарах, предназначенных для дистанционного газоанализа (в том числе и в [4,5]), используется метод дифференциального поглощения (ДП). В этом методе для контроля содержания в атмосфере одного газа используют две длины волны зондирования (это могут быть или два разных лазера или один лазер, перестраиваемый по длине волны [4, 5]). Одна  $\lambda_1$  выбирается в максимуме линии поглощения газа (для нее за счет поглощения газа на трассе зондирования происходит максимальное ослабление сигнала, регистрируемого приемником лидара), а другая  $\lambda_2$  - рядом с первой на краю или вне линии поглощения (для нее ослабление сигнала, регистрируемого приемником лидара за счет поглощения газа, мало). Сравнение лидарных сигналов на двух длин волн зондирования позволяет измерять концентрацию контролируемого газа и обнаруживать его выбросы в атмосферу.

Выбор длин волн зондирования контролируемого газа определяется прежде всего его полосами поглощения.

Наиболее близким к предлагаемому способу обнаружения утечек пропана является способ [4].

Согласно методу дифференциального поглощения для одного газа, включающему выбор длины волны  $\lambda_1$  в максимуме линии поглощения зондируемого газа, а длины волны  $\lambda_2$  - рядом с первой на краю или вне линии поглощения, лазерное зондирование проводится с использованием топографического отражателя на длинах волн  $\lambda_1=3370$  нм и  $\lambda_2$  около 3370 нм вне линии поглощения пропана, а концентрация пропана  $C$  вычисляется по формуле

$$C = \frac{1}{2\alpha R} \ln \frac{E(\lambda_2)}{E(\lambda_1)} 10^6,$$

где

С - концентрация пропана (средняя на трассе «лидар - топографический отражатель») в миллионных долях;

$\alpha = [\alpha(\lambda_1) - \alpha(\lambda_2)]$ ,  $\alpha(\lambda_1)$ ,  $\alpha(\lambda_2)$  - коэффициент поглощения пропана на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , соответственно;

$E(\lambda_1)$ ,  $E(\lambda_2)$  - энергии принимаемых от топографического отражателя лазерных импульсов на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , соответственно;

R - расстояние от лидара до топографического отражателя.

Недостатком этого способа обнаружения утечек пропана является влияние на данные мониторинга изменчивости концентрации атмосферных газов (в основном паров воды), которые имеют в этом диапазоне линии поглощения.

Раскрытие изобретения

Избежать этих недостатка можно тем, что согласно методу дифференциального поглощения для одного газа, включающему выбор длины волны  $\lambda_1$  в максимуме линии поглощения зондируемого газа, а длины волны  $\lambda_2$  - рядом с первой на краю или вне линии поглощения, лазерное зондирование проводится с использованием топографического отражателя на длинах волн  $\lambda_1 = 13\,080$  нм и  $\lambda_2 = 12\,190$  нм, для которых атмосферные газы практически не вызывают поглощения излучения (для их концентраций характерных для земной атмосферы), а концентрация пропана С вычисляется по формуле

$$C = \frac{1}{2\alpha R} \ln \frac{E(\lambda_2 = 12190\text{нм})}{E(\lambda_1 = 13080\text{нм})} 10^6,$$

где

С - концентрация пропана (средняя на трассе «лидар - топографический отражатель») в миллионных долях;

$\alpha = [\alpha(\lambda_1 = 13080\text{нм}) - \alpha(\lambda_2 = 12190\text{нм})]$ ,  $\alpha(\lambda_1 = 13080\text{нм})$ ,  $\alpha(\lambda_2 = 12190\text{нм})$  - коэффициенты поглощения пропана на длинах волн  $\lambda_1 = 13\,080$  и  $\lambda_2 = 12\,190$  нм;

$E(\lambda_1 = 13080\text{ нм})$ ,  $E(\lambda_2 = 12190\text{ нм})$  - энергии принимаемых от топографического отражателя лазерных импульсов на длинах волн  $\lambda_1 = 13\,080$  и  $\lambda_2 = 12\,190$  нм;

R - расстояние от лидара до топографического отражателя (земной поверхности).

Перечень фигур

На Фиг. 1 схематично изображено устройство, реализующее предлагаемый способ.

На Фиг. 2 показан спектр поглощения пропана в широком спектральном интервале 1000-18000 нм.

На Фиг. 3 показаны спектральные зависимости коэффициентов поглощения пропана (Фиг. 3а) и атмосферного воздуха в приземном слое (Фиг. 3б) на длине волны 13 080 нм.

На Фиг. 4 показаны спектральные зависимости коэффициентов поглощения пропана (Фиг. 4а) и атмосферного воздуха в приземном слое (Фиг. 4б) на длине волны 12 190 нм.

Осуществление изобретения

Устройство содержит (см. Фиг. 1) источник лазерного излучения 1, облучающий

земную поверхность на двух длинах  $\lambda_1=13\ 080$  и  $\lambda_2=12\ 190$  нм;

фотоприемник 2, регистрирующий излучение прошедшее слой атмосферы с возможной повышенной концентрацией пропана и отраженное от земной поверхности на двух длинах  $\lambda_1=13\ 080$  и  $\lambda_2=12\ 190$  нм; блок обработки 3, который по данным измерений  $E(\lambda_1)$  и  $E(\lambda_2)$  проводит вычисление средней на трассе «лидар - топографический отражатель» концентрации пропана.

Устройство работает следующим образом.

Источник лазерного излучения 1 облучает исследуемую земную поверхность 4 на двух длинах волн  $\lambda_1=13\ 080$  и  $\lambda_2=12\ 190$  нм (источник лазерного излучения 1 находится на авиационном носителе). Облучение земной поверхности осуществляют, например, с авиационного носителя вертикально вниз (для увеличения полосы обзора возможно сканирование поперек направления полета носителя). Фотоприемник 2 регистрирует излучение, отраженное от земной поверхности на двух длинах волн  $\lambda_1=13\ 080$  и  $\lambda_2=12\ 190$  нм. Сигналы с фотоприемника 2 поступают в блок обработки 3. В блоке обработки по данным измерений  $E(\lambda_1)$  и  $E(\lambda_2)$  проводится вычисление средней на трассе «лидар - топографический отражатель» концентрации пропана. При полете вдоль трубопровода результатом работы блока 3 является массив данных о участках с повышенной концентрацией пропана - утечкой пропана (карта положения утечек пропана вдоль трубопровода).

Исходными данными для разработки способа лазерного обнаружения утечек пропана являются спектры поглощения пропана и атмосферных газов утечек пропана из трубопровода. Длины волн зондирования полагались равными или  $\lambda_1=13\ 080$  нм,  $\lambda_2=12\ 190$  нм. Высота полета авиационного носителя - 100 м. Относительный шум измерения задавался равным 3%. Математическое моделирование проводилось для 1 млн реализаций шума измерения.

Результаты, приведенные в Таблицах 1 и 2, показывают, что при содержании пропана в утечке не менее 0,6% (почти в 3 раза меньше концентрационного предела распространения пламени в пропане - 1,7%) задача дистанционного обнаружения утечек пропана из трубопровода может быть решена с вероятностью правильного обнаружения близкой к единице и вероятностью ложных тревог порядка сотых долей при толщине слоя пропана на земной поверхности не менее 80 см.

В качестве лазерного источника для длин волн зондирования  $\lambda_1=13\ 080$ ,  $\lambda_2=12\ 190$  нм может быть использован перестраиваемый по длине волны источник излучения, например, Hedgehog Mid-IR Laser [10].

Предлагаемый способ дистанционного обнаружения утечек пропана из трубопроводов основан на регистрации отраженного от топографического отражателя (например, земной поверхности) лазерного излучения на длинах волн 13 080 и 12 190 нм, для которых атмосферные газы практически не вызывают поглощения излучения (для их концентраций характерных для земной атмосферы), и позволяет проводить мониторинг независимо от времени суток и в широком диапазоне концентраций паров воды при высотах полета носителя до 300 м.

Источники информации

1. P. Kluczynski, S. Lundqvist, S. Belahsene, Y. Rouillard, L. Nähle, M. Fischer & J. Koeth Detection of propane using tunable diode laser spectroscopy at 3.37 urn // Applied Physics B. 2012. V. 108, P.183-188.

2. N. Kasai, C. Tsuchiya, T. Fukuda, K. Sekine, T. Sano, and T. Takehana, Propane gas leak

detection by infrared absorption using carbon infrared emitter and infrared camera // NDT & E International. 2011. V. 44. No. 1. P. 57-60.

3. M. Jiang et al. Research on propan leak detection system and device based on mid infrared laser// Proc. SPIE. 2017. V.10464. P. 104641Y.

4. N.S. Prasad A.R. Geiger. Remote sensing of propane and methane by means of a differential absorption lidar by topographic reflection // Opt. Eng. 1996. V.35. N 4. P. 1105-1111.

5. Патент RU 2461815. Способ и устройство для обнаружения газов, частиц и/или жидкостей газообразных/жидких углеводородов в диапазоне длин волн 1,0-10,0 мкм. Дата действия патента 26.05.2006. МПК G01N 21/39.

6. Патент RU 2086959 C1. Авиационный лазерный газоанализатор для обнаружения утечек из трубопроводов. Дата действия патента 10.08.1997. МПК G01N 21/39, 21/61.

7. Патент RU 2091759. Авиационное устройство для обнаружения утечек газа из трубопроводов. Дата действия патента 27.09.1997. МПК G01N 21/00.

8. Патент RU 64 779 U1. Лазерный газоанализатор для обнаружения утечек газообразных углеводородов из техногенных объектов. Дата действия патента 28.09.2005. МПК G01N 21/61.

9. I.E. Gordon et al. The HITRAN2016 Molecular Spectroscopic Database // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. Available online 5 July 2017, ISSN 0022-4073, DOI 10.1016/j.jqsrt.2017.06.038.

10. Hedgehog Compact, Rapid-Scan, Tunable Mid-IR CW/Pulsed Lasers. Available at: [www.laser2000.co.uk](http://www.laser2000.co.uk).

**Таблица 1 – Вероятности правильного обнаружения**

Параметры утечки		Размер газового облака, см						
		80	100	120	140	160	180	200
Содержание газа, %	0,6	0,949	0,980	0,993	0,998	1,000	1,000	1,000
	0,7	0,972	0,992	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,8	0,986	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,9	0,994	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	1	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000



Таблица 2 – Вероятности ложной тревоги

Параметры утечки		Размер газового облака, см						
		80	100	120	140	160	180	200
Содержание газа, %	0,6	0,064	0,029	0,012	0,005	0,002	0,001	0,000
	0,7	0,039	0,014	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000
	0,8	0,022	0,007	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,9	0,012	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
	1	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

(57) Формула изобретения

Дистанционный способ обнаружения утечек пропана путем регистрации отраженного излучения, прошедшего слой пропана, на двух лазерных длинах волн, отличающийся тем, что используют лазерное зондирование на длинах волн  $\lambda_1=13\ 080$  и  $\lambda_2=12\ 190$  нм, для которых атмосферные газы практически не вызывают поглощения излучения, а концентрация пропана  $C$  вычисляется по формуле

$$C = \frac{1}{2\alpha R} \ln \frac{E(\lambda_2 = 12190\text{нм})}{E(\lambda_1 = 13080\text{нм})} 10^6 \quad (1) ,$$

где:

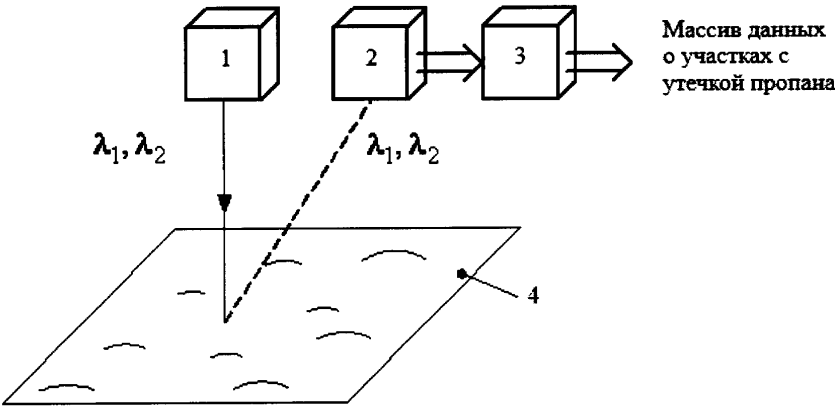
$C$  - концентрация пропана (средняя на трассе «лидар - топографический отражатель») в миллионных долях;

$$\alpha = [\alpha(\lambda_1 = 13080\text{нм}) - \alpha(\lambda_2 = 12190\text{нм})],$$

$\alpha(\lambda_1 = 13080\text{нм})$ ,  $\alpha(\lambda_2 = 12190\text{нм})$  - коэффициент поглощения пропана на длинах волн  $\lambda_1=13\ 080$  и  $\lambda_2=12\ 190$  нм;  $E(\lambda_1=13080\text{ нм})$ ,  $E(\lambda_2=12190\text{ нм})$  - энергии принимаемых от топографического отражателя лазерных импульсов на длинах волн  $\lambda_1=13\ 080$  и  $\lambda_2=12\ 190$  нм;

$R$  - расстояние от лидара до топографического отражателя (земной поверхности).

1



Фиг.1



Фиг.2

2

