

Оскільки цей сигнал розраховано на перевірку передавання послідовності C_B, Y, C_R, Y , ця послідовність займає в рядку $2N_a$ відліків з кроком $\Delta\xi/2$, де $\Delta\xi/2$

z_a	N_a	ξ_{00}	ξ_{01}	ξ_{02}	ξ_{03}	ξ_{10}	ξ_{11}
483	720	0	253	254	507	508	761
576	720	0	253	254	507	508	761
720	1280	0	253	254	507	508	761
1080	1920	0	253	254	507	508	761

z_a	N_a	ξ_{12}	ξ_{13}	ξ_{20}	ξ_{21}	ξ_{22}	ξ_{23}
483	720	762	1015	1016	1269	1270	1523
576	720	762	1015	1016	1269	1270	1523
720	1280	762	1015	1016	1269	1270	1523
1080	1920	762	1015	1016	1269	1270	1523

z_a	N_a	ξ_{30}	ξ_{31}	ξ_{32}	ξ_{33}	ξ_{40}	ξ_{41}
720	1280	1524	1777	1778	2031	2032	2285
1080	1920	1524	1777	1778	2031	2032	2285

z_a	N_a	ξ_{42}	ξ_{43}	ξ_{50}	ξ_{51}	ξ_{52}	ξ_{53}
720	1280	2286	2539				
1080	1920	2286	2539	2540	2793	2794	3047

z_a	N_a	ξ_{60}	ξ_{61}	ξ_{62}	ξ_{63}	ξ_{70}	ξ_{71}
1080	1920	3048	3301	3302	3555	3556	3779

z_a	N_a	ξ_{72}	ξ_{73}				
1080	1920	3810	3919				

дорівнює кроку дискретизації сигналу яскравості. Якщо прийняти $\Delta\xi/2 = 1$, змінна ξ буде дорівнювати номерам відліків послідовності.

Для ТБВЧ побудова функції $A7(\xi)$ у відповідності з формулою (11) відповідає такому самому пилкоподібному сигналу з більшою кількістю періодів у інтервалі активної частини рядку.

Таблиця 14

УДК 621.373:772.99

РЕЗУЛЬТАТЫ ТРАССОВОГО ЛАЗЕРНОГО МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ

Л. Ф. Черногор

Доктор физико-математических наук, профессор

Факультет радиофизики

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61077

Контактный тел.: (057) 707-55-61

E-mail: Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

А. С. Рашкевич

Адъюнкт

Кафедра Охраны труда и техногенно-экологической

безопасности

Национальный университет гражданской защиты Украины

ул. Чернышевского, 94, г. Харьков, 61023

Контактный тел.: (057) 707-34-57

E-mail: op_teb@ukr.net

Описано лазерний монітор забруднюючих газових домішок в атмосфері. Наведено методіку і результати вимірювань. Пропонується використовувати лазерний монітор в якості базового кошти для організації дистанційного контролю зон надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: лазерний моніторинг, газові домішки, атмосфера

Описан лазерный монитор загрязняющих газовых примесей в атмосфере. Приведена методика и результаты измерений. Предлагается использовать лазерный монитор в качестве базового средства для организации дистанционного контроля зон чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: лазерный мониторинг, газовые примеси, атмосфера

We describe a laser monitor pollutant gases in the atmosphere. The method and the measurement results. It is proposed to use a laser display as a basic means for remote control zones emergencies.

Key words: laser monitoring, trace gases, the atmosphere

Постановка проблемы

В начале XXI века лазерные мониторы, называемые также лидарами, стали применяться в разных областях науки и техники и, в частности, для экологического мониторинга загрязняющих примесей атмосферы. Для этого используется инфракрасный диапазон электромагнитных волн, в особенности длины волн 2.5-14 мкм [1-6].

Лазерный мониторинг обладает рядом неоспоримых преимуществ.

Во-первых, удается реализовать дистанционный контроль состава газовых примесей, среди которых могут быть вредные и просто недопустимо опасные для здоровья человека.

Во-вторых, лазерный мониторинг позволяет обнаруживать несколько десятков различных газовых примесей.

В-третьих, лазерный мониторинг обладает высокой чувствительностью: удается достичь минимальных обнаруживаемых концентраций порядка 1-10 ppb (ppb – одна частица примесей на миллиард частиц основного газа). В тоже время предельно допустимые концентрации обычно составляют величины порядка 1-100 ppm (ppm – одна частица примесей на миллион частиц основного газа).

В-четвертых, лазерный монитор позволяет производить диагностику не только газовых примесей, но и аэрозолей (твердых пылинок или жидких микрокапель) в атмосфере.

Перечисленные преимущества лазерного монитора (лидара) делает его незаменимым для дистанционной диагностики вредных газовых примесей и аэрозолей в зонах чрезвычайной ситуации. Именно дистанционная диагностика позволяет сохранить здоровье и жизнь представителей служб (боевых расчетов) Министерства по чрезвычайным ситуациям, которые принимают участие в ликвидации последствий аварий и катастроф, сопровождающихся выбросами вредных и, априори, неизвестных веществ (газов и аэрозолей).

Анализ последних достижений и публикаций

Число катастроф в Украине остается достаточно высокой, причем их число, скорее всего, будет увеличиваться [7-13]. Это связано с ростом изношенности оборудования на промышленных объектах и транспортных системах. Это приводит к авариям на военных арсеналах, газовых хранилищах, газотранспортных системах, на железнодорожном транспорте, химических заводах, шахтах и т.п. [7-13].

Лазерные мониторы (лидары) за рубежом только начинают использоваться в целях экологического контроля окружающей среды [3-6].

В Украине лишь одна группа исследователей разработала действующий макет лазерного монитора и провела его апробацию [14]. Однако отсутствие финансирования приостановила эти исследования.

Постановка задачи и ее решение

В то же время Украине крайне необходимо серийное средство дистанционного лазерного мониторинга зон чрезвычайных ситуаций. Для этого необходимо обособить оптимальные параметры лазерного монитора,

его схему и конструкцию, разработать методики измерения и обработки сигнала, провести апробацию реальных условий.

Целью настоящей работы – краткое описание макета лазерного монитора, методики измерения концентраций газовых примесей и результатов испытаний в реальных условиях загрязненной атмосферы.

Средство мониторинга

Схема макета измерительной установки подобна описанной авторами [14]. Ее схема представлена на рис. 1. Макет содержит частотно-перестраиваемый CO₂ - лазер мощностью около 50 Вт., механический прерыватель, систему отклоняющихся зеркал, делитель оптического излучения, пироэлектрический детектор, поглощающую ячейку, пироэлектрический приемник, дифференциальный усилитель и стандартный усилитель.

Макет работает следующим образом. Излучение CO₂ - лазера – 1, модулированное механическим прерывателем 2, с помощью системы отклоняющихся зеркал 3 направляется в измерительную схему. Часть падающего излучения (~50%) отводится делителем 4 и регистрируется опорным пироэлектрическим детектором 5. Другая часть излучения пропускается через поглощающую ячейку 6 и регистрируется другим подобным сигнальным – пироэлектрическим приемником 7. Сигналы от обоих пироэлектрических приемников поступают на входы дифференциального усилителя 8, выделяющего разностный сигнал, который затем усиливается и измеряется стандартным усилителем 9 типа В6-4. Поглощающая ячейка выполнена в виде трубки из пирекса (ее внутренний диаметр равен 32 мм и длина L=260 мм), имеющей 3 штуцера – два по краям и один в центре. С торцов трубка закрыта окнами, выполненными из кристаллического NaCl и расположенными под углом Брюстера к оси трубки.

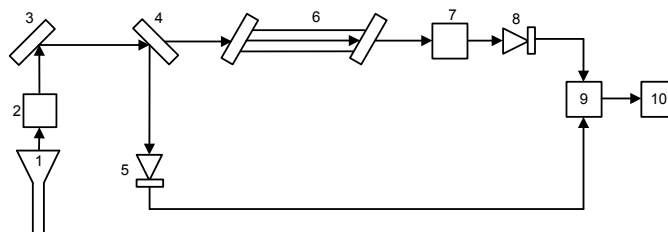


Рис. 1. Функциональная схема лабораторного лазерного монитора газовых примесей в атмосфере: 1 – CO₂ - лазер; 2 – механический прерыватель; 3 – система зеркал; 4 – делитель оптического измерения; 5 – опорный пиродетектор; 6 – поглощающая ячейка; 7 – исследуемый объем газа; 8 – пироприемник; 9 – дифференциальный усилитель; 10 – стандартный усилитель типа В6-4.

Макет, схема которого приведена на рис. 1, использовался для лабораторной обработки методик измерения концентраций различных газов и экспериментальной оценки погрешности измерений. Погрешность составляет 1-10%.

Для трассовых измерений в реальных городских условиях использовался усовершенствованный макет, схема которого приведена на рис. 2.

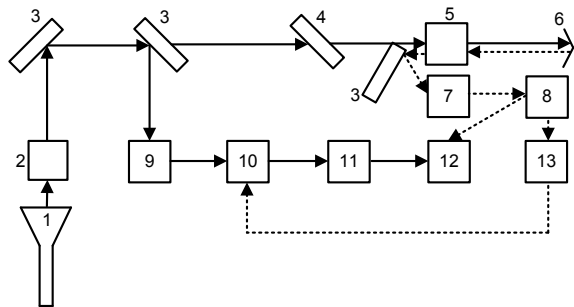


Рис. 2. Функциональная схема макета для трассового мониторинга газовых примесей в атмосфере: 1 – частотно-перестраиваемый CO₂ - лазер; 2 – механический модулятор-прерыватель; 3 – система зеркал; 4 – делитель оптического излучения; 5 – объем атмосферного газа; 6 – уголкового отражателя; 7 – пироприемник; 8 – усилитель; 9 – пиродетектор; 10 – стандартный усилитель; 11 – регистрирующее устройство (компьютер); 12 – синхронный детектор; 13 – дисплей компьютера.

Макет работает следующим образом. Около 5% энергии оптического излучения направляется в канал 9-10-11. Основная энергия через систему зеркал попадает в атмосферу, распространяясь в ней, достигает уголкового отражателя 6, отражается от него и возвращается по той же траектории к зеркалу, а от него попадает в канал анализа 7-8-12-13.

Методика измерений

Для обнаружения определенной газовой примеси регистрируется интенсивность лазерного излучения в заданных линиях. Перечень газов и соответствующих линий, используемых для мониторинга газовых примесей в атмосфере, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Перечень газов, линий поглощения и вне линий поглощения

Газ	Линия поглощения	Вне линии поглощения
H ₂ O	10P (20)	10P (18)
O ₃	9P (14)	9P (22)
SF ₆	10P (16)	10P (10)
NH ₃	9P (30)	9P (28)
N ₂ H ₄	10P (32)	10P (34)
C ₂ H ₂	2x10P (36)-9P (26)	2x10P (37)-9P (36)
C ₂ H ₄	10P (14)	10P (12)
C ₆ H ₆	9P (30)	9P (26)
C ₂ Cl ₄	10P (34)	10P (24)
C ₂ HCl ₃	10P (20)	10P (20)
C ₂ H ₃ Cl	10P (22)	9P (18)
C ₂ H ₅ SH	10P (26)	10P (20)
C ₂ H ₅ Cl	10P (16)	10P (20)
C ₂ H ₄ Cl ₂	10P (20)	10P (16)
C ₄ H ₅ Cl	10P (18)	9P (22)
CF ₂ Cl ₂	10P (32)	10P (12)
CFCl ₃	9P (22)	9P (18)
NO	2x10P (24)	2x10P (26)
CO	2x9P (24)	2x9P (26)
OCS	2x9P (30)	2x9P (14)
CO ₂	10P (30)+9P (14)	2x9P (40)
N ₂ O	9P (40)+9P (18)	2x9P (40)
HCl	2x10P (26)+10P (20)	2x10P (26)+10P (14)
NO ₂	2x10P (30)+9P (16)	2x10P (26)+9P (24)
CH ₄	2x9P (10)+10P (18)	2x9P (16)+10P (32)
H ₂ CO	2x10P (24)+10P (29)	2x10P (30)+10P (18)
PH ₃	2x9P (28)-9P (34)	2x9P (34)-9P (12)
SO ₂	2x9P (19)-10P (14)	2x9P (22)-10P (16)
HNO ₃	2x10P (20)-9P (10)	2x10P (26)-10P (22)
HCN	2x10P (38)-9P (36)	2x10P (37)-9P (32)

Из табл. 1 видно, что лазерный монитор позволяет идентифицировать не менее 30 газовых примесей в атмосфере, которые могут появиться в зоне чрезвычайной ситуации в результате аварий на газовых хранилищах, газопроводах, на химических производствах, транспорте и т.д.

Чувствительность лазерного монитора зависит от отношения сигнал/шум, времени обработки сигнала и длины трассы. Например, при типичном отношении сигнал/шум равного 100, и времени обработки 100 с. и длине трассы 1 км., чувствительность монитора (минимально обнаруживаемая концентрация газовых примесей) в зависимости от типа примеси приведена в табл.2.

Таблица 2

Минимально обнаруженная концентрация газовых примесей (МОКГП) при длине трасы 1 км. и их предельно допустимые концентрации (ПДК)

Газ	МОКГП, ppb	ПДК, ppb
H ₂ O	150	—
O ₃	5	—
SF ₆	10	—
NH ₃	1	—
N ₂ H ₄	10	—
C ₂ H ₂	3	—
C ₂ H ₄	2	—
C ₆ H ₆	30	—
C ₂ Cl ₄	50	18
C ₂ HCl ₃	25	5
C ₂ H ₃ Cl	20	14
C ₂ H ₅ SH	600	250
C ₂ H ₅ Cl	80	20
C ₂ H ₄ Cl ₂	550	120
C ₄ H ₅ Cl	45	12
CF ₂ Cl ₂	10	2
CFCl ₃	10	2
NO	40	—
CO	5	—
OCS	1	—
CO ₂	4	—
N ₂ O	6	—
HCl	3	3.35
NO ₂	25	1
CH ₄	2	—
H ₂ CO	4	0.4
PH ₃	40	—
SO ₂	6	0.7
HNO ₃	11	1.3
HCN	20	0.3

Из табл. 2 видно, что чувствительность монитора примерно в тысячу раз меньше предельно допустимых концентраций соответствующих газов.

Для измерений использовался CO₂ - лазер с мощностью около 50 Вт, расположенного на высоте около 40 м. Уголкового отражателя был отнесен в горизонтальном направлении на расстояние R₀ ≈ 3км. Трасса мониторинга проходила через центральную часть г. Харькова.

Для исследования работоспособности макета лазерного монитора и применимости методик дистанционного мониторинга газовых примесей в зоне чрезвычайной ситуации произведены измерения газовых примесей в экологически неблагополучной части г. Харькова. Измерения выполнены в различные сезоны 2010-2011 гг.

Методика определения концентраций газовых примесей

В основу вычисления газовых примесей в атмосфере

положена методика дифференциального поглощения в двух спектральных линиях излучения, на которые эффект резонансного поглощения газовыми примесями существенно различается (рис. 3). Перечень этих линий приведен в табл. 1.

Суть методики сводится к следующему.

Известно, что мощность оптического излучения отраженного от уголкового отражателя и дважды прошедшего через диагностируемый объем атмосферы дается соотношением [3]:

$$P_s = \frac{PS\eta C}{R_0^2} \cdot e^{-2\Gamma(R_0)}, \tag{1}$$

где P – мощность лазера;

S – эффективная площадь (апертура) приемника оптического излучения;

η – его эффективность;

C – аппаратная константа;

Γ – интегральный коэффициент поглощения лазерного излучения.

Коэффициент

$$\Gamma(R_0) = \int_0^{R_0} \alpha(R) dR \equiv \int_0^{R_0} N(R) \sigma dR,$$

где α – объемный коэффициент поглощения лазерного излучения;

N – концентрация газовой примеси;

σ – сечение поглощения излучения.

Для дальнейшего, выражение (1) удобно представить в виде:

$$P_s(\lambda) = B \cdot e^{-2\Gamma(\lambda)}, \tag{2}$$

где $B = \frac{PS\eta C}{R_0^2}$, λ – длина волны излучения.

При измерении на двух длинах волн, соответствующих линиям резонансного поглощения и вне этой линии, из (2) получим, что

$$P_s(\lambda_1) = B \cdot e^{-2\Gamma(\lambda_1)}. \tag{3}$$

$$P_s(\lambda_2) = B \cdot e^{-2\Gamma(\lambda_2)}. \tag{4}$$

Избавляясь от неизвестной константы B делением (3) на (4), получим, что

$$\frac{P_s(\lambda_1)}{P_s(\lambda_2)} = e^{-2(\Gamma(\lambda_1) - \Gamma(\lambda_2))}. \tag{5}$$

Из (5) следует, что

$$\Gamma(\lambda_1) - \Gamma(\lambda_2) = \frac{1}{2} \ln \frac{P_s(\lambda_1)}{P_s(\lambda_2)} = A. \tag{6}$$

Значение A известно из эксперимента.

Учтем, что

$$\Gamma(\lambda) = \int N(R) \sigma(R, \lambda) dR.$$

Для квазиоднородного распределения газовой примеси вдоль трассы

$$\Gamma(\lambda) = N \cdot \sigma(\lambda) R_0, \tag{7}$$

где N – искомая концентрация газовой примеси.

Из (6) и (7) следует, что

$$N(\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)) R_0 = A,$$

или

$$N(\sigma_1 - \sigma_2) R_0 = A,$$

где $\sigma_1 \equiv \sigma(\lambda_1)$, $\sigma_2 \equiv \sigma(\lambda_2)$.

Тогда искомая концентрация газовой примеси дается простым соотношением:

$$N = \frac{A}{(\sigma_1 - \sigma_2) \cdot R_0}. \tag{8}$$

В соотношении (8) A и R_0 известны из эксперимента, а σ_1 и σ_2 – из теории спектроскопии.

Результаты измерений

Примеры результатов измерений приведены в табл. 3-6.

Таблица 3

Результаты измерений газовых примесей в мегаполисе (г. Харьков) в декабре 2010 года

Газ	Концентрация газа, ppb	Предельно допустимые концентрации, ppm
H ₂ O	1,2*10 ⁴	–
N ₂ O	6*10 ²	–
NO ₂	2*10 ³	–
NO	3*10 ³	1
NH ₃	7*10 ²	–
C ₄ H ₅ Cl	4*10 ²	12
SO ₂	5*10 ²	–
PH ₃	3,5*10 ²	0,7
CO	3*10 ³	–
CO ₂	3,1*10 ⁵	–
CH ₄	2*10 ²	–

Таблица 4

Результаты измерений газовых примесей в мегаполисе (г. Харьков) в марте 2011 года

Газ	Концентрация газа, ppb	Предельно допустимые концентрации, ppm
H ₂ O	10 ⁴	–
N ₂ O	7,1*10 ²	–
NO ₂	2,5*10 ³	–
NO	3,1*10 ³	1
NH ₃	8,5*10 ²	–
C ₄ H ₅ Cl	4,2*10 ²	12
SO ₂	5,5*10 ²	–
PH ₃	3,7*10 ²	0,7
CO	3,2*10 ³	–
CO ₂	1,1*10 ⁶	–
CH ₄	3,1*10 ²	–

Таблица 5

Результаты измерений газовых примесей в мегаполисе (г. Харьков) в июне 2011 года

Газ	Концентрация газа, ppb	Предельно допустимые концентрации, ppm
H_2O	$0.9 \cdot 10^4$	–
N_2O	$9 \cdot 10^2$	–
NO_2	$4 \cdot 10^3$	–
NO	$5.7 \cdot 10^3$	1
NH_3	$9 \cdot 10^2$	–
C_4H_5Cl	$4.5 \cdot 10^2$	12
SO_2	$6.1 \cdot 10^2$	–
PH_3	$4.2 \cdot 10^2$	0.7
CO	$5.1 \cdot 10^3$	–
CO_2	$1.7 \cdot 10^6$	–
CH_4	$3.7 \cdot 10^2$	–

Таблица 6

Результаты измерений газовых примесей в мегаполисе (г. Харьков) в сентябре 2010 года

Газ	Концентрация газа, ppb	Предельно допустимые концентрации, ppm
H_2O	$1.1 \cdot 10^4$	–
N_2O	$7.2 \cdot 10^2$	–
NO_2	$4.6 \cdot 10^3$	–
NO	$6.2 \cdot 10^3$	1
NH_3	$9.7 \cdot 10^2$	–
C_4H_5Cl	$4.5 \cdot 10^2$	12
SO_2	$5.6 \cdot 10^2$	–
PH_3	$4.9 \cdot 10^2$	0.7
CO	$8.3 \cdot 10^3$	–
CO_2	$2.2 \cdot 10^6$	–
CH_4	$3.3 \cdot 10^2$	–

Из табл. 3-6 видно, концентрация ряда газовых примесей приближается к предельно допустимой.

Интересно, что концентрация примесей весной и осенью существенно (1.5-2 раза) выше, чем зимой. Летом их концентрация несколько меньше, чем в весенний и осенний периоды.

Судя по составу вредных газовых примесей, их существование связано, в первую очередь, с выбросами выхлопных газов автомобилей и эксплуатацией тепловых энергетических систем. В зимнее время число автомобилей в центре г. Харькова уменьшается, при этом снижаются выбросы в атмосферу, но при этом увеличиваются выбросы тепловых энергетических систем.

Наибольшее выбросов имели место в апреле-мае и сентябре-октябре. Очевидно, что движение автотранспорта в это время наиболее активное.

Некоторое снижение выбросов в июле-августе объясняется также относительным уменьшением количества транспорта на городских улицах. Значительная часть автовладельцев находится за пределами г. Харькова. Кроме того, тепловые энергетические системы работают в облегченном режиме.

Другим важным с экологической точки зрения стал результат наблюдений, заключающийся в том, что при наличии тумана и низкой облачности в осеннее время концентрация газовых примесей в атмосфере увеличилась в 1.7–2.3 раза. С этим связан эффект городского смога (эффект «тумана-киллера»).

Обобщение. Практические рекомендации

Как уже отмечалось во введении, в последнее время

наблюдается устойчивая тенденция к использованию лидаров (лазерных мониторов) для оценки экологической обстановки.

В настоящей работе нами предложено использовать лазерный дистанционный мониторинг газовых примесей в зонах чрезвычайных ситуаций. Такая проблема остро стоит перед подразделениями Министерства по чрезвычайным ситуациям Украины. До настоящего времени службами Министерства используются приборы дозиметрического контроля, разработанные в бывшем СССР в 50-60 е годы XX столетия. Эти приборы морально устарели.

В то же время для оснащения служб Министерства по чрезвычайным ситуациям Украины крайне требуется разработка прибора нового поколения, основанного на других физических принципах.

Таким прибором может быть лазерный монитор. К сожалению, в Украине существует единственный экспериментальный макет лазерного монитора. Этот макет использовался нами для отработки методики измерения и анализа результатов измерений. Для этой цели были проведены измерения газовых примесей в различные сезоны 2010-2011 гг.

Проведенная опытная проверка экспериментального макета лазерного монитора и методик получения концентраций газовых примесей в атмосфере центра г. Харькова полностью подтвердила их работоспособность.

Данный макет может быть положен в основу передвижного серийного лазерного монитора, которым предлагается оснащать подразделения Министерства по чрезвычайным ситуациям Украины.

Лазерный монитор предлагается монтировать в специальной передвижной лаборатории в салоне автомобиля повышенной проходимости.

Для получения оперативной информации монитор следует сопрягать с миникомпьютером (ноутбуком).

Предлагается следующая схема действий расчета подразделения Министерства по чрезвычайным ситуациям Украины в зоне чрезвычайной ситуации.

1. На основе априорной информации о чрезвычайном происшествии уже в пути при движении спецлаборатории к месту аварии предварительно оценивается отдельный газовый состав выброса. Выбираются спектральные линии для анализа состава примесей в первую очередь. Информация о спектральных линиях хранится в памяти миникомпьютера.

2. Расчет одной из машин передвижной лаборатории оперативно устанавливаются на высоте 2-5 м. угловой отражатель. При помощи системы «навигатор» (или другой равноценной) определяются географические координаты места расположения углового отражателя. Эти координаты при помощи мобильной (радио) связи сообщаются расчету на основной машине спецлаборатории.

3. Основная машина спецлаборатории располагается с противоположной стороны (по отношению к зоне чрезвычайной ситуации).

4. По известным географическим координатам основной машины и углового отражателя оперативно обнаруживается отраженный от углового отражателя и дважды прошедший через зону выброса оптический сигнал.

5. Оптический сигнал анализируется компьютером, полученная информация отображается на дисплее и сохраняется в памяти компьютера.

6. Аналогично производится обработка сигнала для других спектральных линий.

7. На основе полученной информации расчет подразделения принимает решение о ликвидации последствий аварий.

Выводы

1. Для оперативной дистанционной диагностики газовых примесей в зоне чрезвычайной ситуации (в зонах аварий, катастроф и т.п.) предложено использовать монитор на основе CO₂ – лазера.

2. Разработана и апробирована методика оперативной дистанционной диагностики большого количества газовых примесей в атмосфере.

3. Макет лазерного монитора подтвердил ее работоспособность. Погрешность измерений концентраций газовых примесей составляла 1-10%. Существуют пути уменьшения этой погрешности.

4. Имеется задел для создания серийного программно-аппаратного монитора на основе CO₂ – лазера.

5. Разработаны практические рекомендации, направленные на реализацию дистанционного лазерного мониторинга газовых примесей в зонах чрезвычайных ситуаций.

Литература

1. Самохвалов И.В. Лазерное зондирование тропосферы и прилегающей поверхности [Текст] / Самохвалов И.В., Копытин Ю.Д., Ишполитов И.И. и др. // Новосибирск: Наука, 1987. с.107-122
2. Долгий С.И. ИК лазерные газоанализаторы дифференциального поглощения «Трал-3» и «Трал-3М» [Текст] / Долгий С.И., Зуев В.В., Смирнов С.В. и др. // Оптика атмосферы, – 1991. – т.4, №5. – с. 515-520
3. Зуев В.Е. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы [Текст] / Зуев В.Е., Зуев В.В. // С.-Петербург: Гидрометеиздат. 1992. 384 с.

4. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование [Текст] / Межерис Р. // М.: Мир, 1987. 471 с.
5. Лазерный контроль атмосферы [Текст] / Под ред. Э.Д. Хинкли // М.: Мир, 1979. 380 с.
6. Васильев Б.И. ИК лидары дифференциального поглощения для экологического мониторинга окружающей среды [Текст] / Васильев Б.И., Маннун У.М. // Квантовая электроника. – 2006. – т.36, №9. – с.801-820
7. Черногор Л.Ф. Геофизические эффекты и геоэкологические последствия массовых химических взрывов на военных складах в г. Артемовске [Текст] / Черногор Л.Ф. // Геофизический журнал. – 2004. – т.26, №4. – с. 31-44
8. Черногор Л.Ф. Взрывы боеприпасов на военных базах – источник экологических катастроф в Украине [Текст] / Черногор Л.Ф. // Экологія і ресурси. – 2004. – №10. – с. 55-67
9. Черногор Л.Ф. Геофизические эффекты и экологические последствия пожара и взрывов на военной базе вблизи г. Мелитополь. [Текст] / Черногор Л.Ф. // Геофизический журнал. – 2004. – т.26, №6. – с. 61-73
10. Черногор Л.Ф. Экологические последствия массовых химических взрывов при техногенной катастрофе [Текст] / Черногор Л.Ф. // Геоэкология. – 2006. – №6. – с. 522-535
11. Черногор Л.Ф. Геоэкологические последствия взрыва склада боеприпасов [Текст] / Черногор Л.Ф. // Геоэкология. – 2008. – №4. – с. 359-369
12. Черногор Л.Ф. Взрывы на газопроводах и аварии на газовых хранилищах – источник экологических катастроф в Украине [Текст] / Черногор Л.Ф. // Экологія і ресурси. – 2008. – №3. – с. 56-72
13. Черногор Л.Ф. Найбільша аварія на газоконденсатному родовищі на Харківщині та її наслідки [Текст] / Черногор Л.Ф. // Національна безпека: український вимір. – 2009. – №4(23). – с. 59-70
14. Герасимов В.Г. Трассовый ИК-анализатор газовых примесей в атмосфере (калибровка по озону и измерение содержания озона в атмосфере) [Текст] / Герасимов В.Г., Аникеев А.Я., Диденко В.И., Рябых В.Н. // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – т.3, №4 – с. 387-392