

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01N 21/25 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023135948, 28.12.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.12.2023Дата регистрации:  
14.05.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.12.2023

(45) Опубликовано: 14.05.2024 Бюл. № 14

Адрес для переписки:

105005, Москва, вн. тер. г. Муниципальный  
округ Басманный, 2-я Бауманская ул., 5, стр.  
1, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Амелина Ксения  
Евгеньевна

(72) Автор(ы):

Давыдов Вячеслав Федорович (RU),  
Комаров Евгений Геннадиевич (RU),  
Максимова Алина Николаевна (RU),  
Воробьева Анна Сергеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

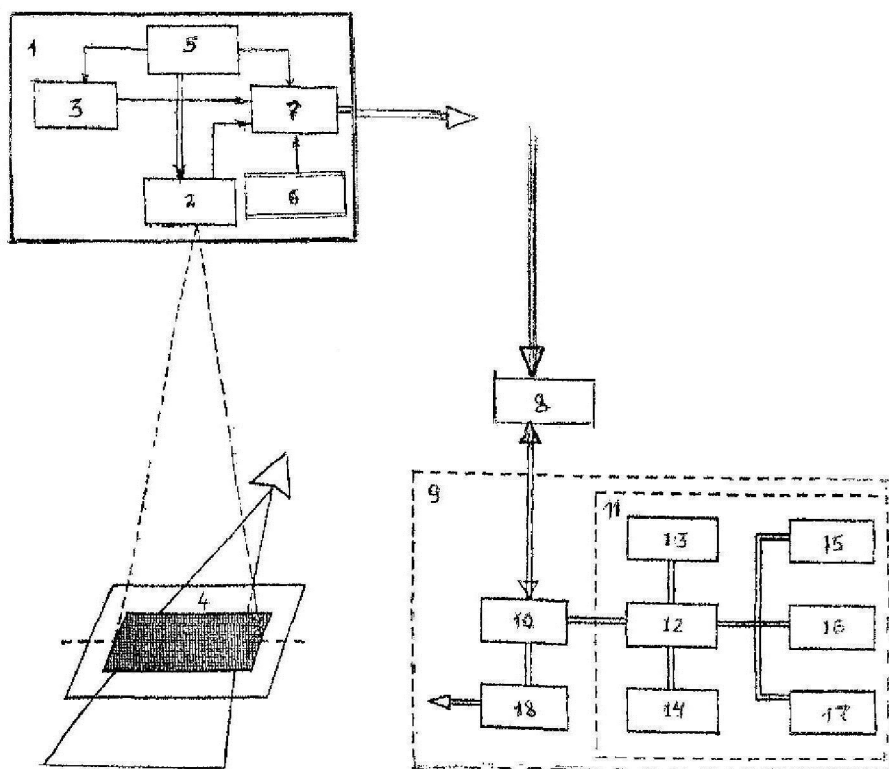
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский государственный  
технический университет имени Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский  
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2422859 C1, 27.06.2011. RU  
2619837 C1, 18.05.2017. RU 2672188 C1,  
12.11.2018. EP 3637068 A1, 15.04.2020. CN  
114935553 A, 23.08.2022. RU 2643200 C1,  
31.01.2018.

(54) Способ мониторинга атмосферы мегаполисов

(57) Реферат:

Использование: для мониторинга атмосферы мегаполисов. Сущность изобретения заключается в том, что размещают на беспилотном летательном аппарате спектрометр и экспресс-измеритель концентрации примесных газов в атмосфере на основе газовых датчиков с привязкой результатов измерений по координатам посредством аппаратуры потребителей системы ГЛОНАСС, зондируют слой тропосферы с поверхности Земли и с высоты выше стратифицированного слоя примесных газов, рассчитывают разницу энергии между спектром одноразового и двухразового

прохождения солнечного потока через слой примесных газов, определяют количество квантовых переходов, рассчитывают количество молей молекул парниковых газов в объеме луча зондирования, определяют суммарный вес и их среднюю концентрацию в зондированном объеме, корректируют результат по измерениям магазина газовых датчиков в тех же точках, что и измерения спектрометра. Технический результат: обеспечение достоверности, точности, оперативности, большого пространственного размаха одномоментных измерений. 5 ил.



Фиг. 5

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC  
*G01N 21/25 (2024.01)*(21)(22) Application: **2023135948, 28.12.2023**(24) Effective date for property rights:  
**28.12.2023**Registration date:  
**14.05.2024**

Priority:

(22) Date of filing: **28.12.2023**(45) Date of publication: **14.05.2024** Bull. № 14

Mail address:

**105005, Moskva, vn. ter. g. Munitsipalnyj okrug  
Basmanyj, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1, MGTU  
im. N.E. Baumana, Amelina Kseniya Evgenevna**

(72) Inventor(s):

**Davydov Viacheslav Fedorovich (RU),  
Komarov Evgenii Gennadievich (RU),  
Maksimova Alina Nikolaevna (RU),  
Vorobeva Anna Sergeevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Moskovskii gosudarstvennyi  
tekhnicheskii universitet imeni N.E. Baumana  
(natsionalnyi issledovatel'skii universitet)»  
(MGTU im. N.E. Baumana) (RU)**(54) **METHOD OF MONITORING ATMOSPHERE OF MEGALOPOLISES**

(57) Abstract:

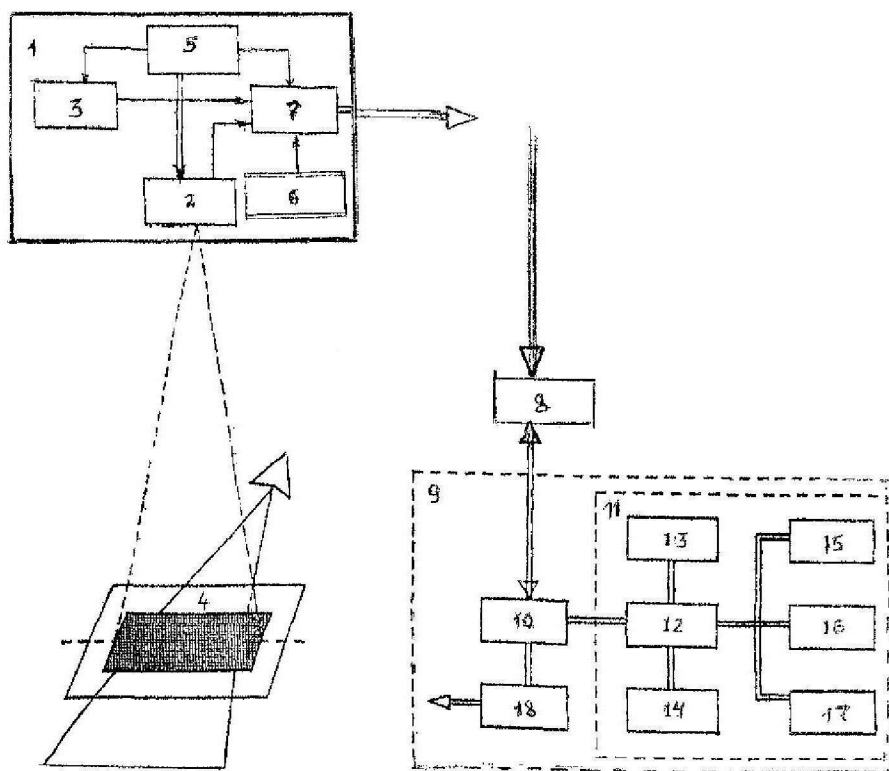
FIELD: measurement.

SUBSTANCE: use for monitoring the atmosphere of megalopolises. Essence of the invention consists in the fact that a spectrometer and an express meter of concentration of impurity gases in the atmosphere based on gas sensors with reference of measurement results by coordinates by means of equipment of consumers of the GLONASS system are placed on an unmanned aerial vehicle, troposphere layer is probed from the Earth's surface and from a height above the stratified layer of impurity gases, calculating the energy difference between the spectrum of one-time and two-

time passage of the solar flow through the layer of impurity gases, determining the number of quantum transitions, calculating the number of moles of greenhouse gas molecules in the volume of the probing beam, determining the total weight and their average concentration in the probed volume, correcting the result by measurements of the gas sensor magazine at the same points as the measurements of the spectrometer.

EFFECT: providing reliability, accuracy, efficiency, large spatial range of single-step measurements.

1 cl, 5 dwg



Фиг. 5

Изобретение относится к области экологии, в частности к дистанционным методам мониторинга природных сред, и может найти применение в системах санитарно-эпидемиологического контроля промышленных регионов.

Законом Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды», 1991 г., предусмотрены обязанности местных органов власти в организации мониторинга окружающей природной среды.

Известен способ оценки состояния атмосферы путем расчета суммарного индекса состояния  $q_z$  [см., например, «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий». Общесоюзный нормативный документ, ОНД-86, СССР. Гидрометеиздат, Лен., 1987 г., стр. 4...5 – аналог]

$$q_z = m_1/CH_1 + m_2/CH_2 \dots m_n/CH_n;$$

где  $m_i$  – концентрация  $i$ -го вещества в атмосфере, мг/м<sup>3</sup>;

$CH_i$  – установленная предельная санитарная норма ( $CH$ ) (мг/м<sup>3</sup>) данного вещества, согласно ГОСТ 12.1.005-88.

Обычно  $q_z$  рассчитывают для пяти составляющих, определяющих основной вклад в загрязнение атмосферы при условии, что  $q_1 > q_2 > q_3 > q_4 > q_5$  [см., например.

Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России, под редакцией Э.Ю. Безугловой, ГТО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, 1994...1996 гг. – аналог].

$$q_z = \sum_{i=1}^{n=5} \left[ m_i/CH_i \right]^j;$$

где  $m_i$  [мг/м<sup>3</sup>] – средняя за год концентрация  $i$ -го вещества в атмосфере, определяемая по локальным измерениям на местности;

$CH_i$  – предельно допустимая санитарная норма концентрации  $i$ -го вещества в атмосферном воздухе, согласно ГОСТ;

$j$  – показатель степени изоэффективности вредного вещества, равный 0,85; 1; 1,3; 1,5 для веществ IV, III, II, и I классов опасности.

Недостатками аналога являются:

- статистическая неустойчивость метода единичных локальных измерений на местности в контрольных точках, как таковых;

- неопределенность выбора самих контрольных точек забора проб и существенное влияние на результат измерений розы ветров и случайных завихрений атмосферы в точках забора;

- неоперативность методов аналитической химии путем забора проб, составляющая от 6 до 12 час по одной пробе, высокая стоимость химического анализа пробы;

- невозможность одновременного контроля всего множества ингредиентов (до 600) из-за неоперативности и высокой стоимости.

Ближайшим аналогом к заявленному техническому решению является «Устройство экспресс анализа примесных газов в атмосфере» Патент Ru№2.643.200, 2018 г. G.01.N,27/12.

Устройство ближайшего аналога выполнено из набора контроллеров, совместимых с ПЭВМ, разнесенных по площади мегаполиса, каждый контроллер содержит несколько

разнотипных газовых датчиков с электронной схемой подключения в составе стабилизатора напряжения, стабилизатора тока подогрева, мостовой схемы, в одно из плеч которой включен датчик, ее измерительная диагональ, посредством канального коммутатора, поочередно, с темпом ниже времени адсорбции детектируемого газа, подключена на вход измерительного тракта из последовательно включенных операционного усилителя, аналогово-цифрового преобразователя, буферного запоминающего устройства, схемы сравнения, оперативного запоминающего устройства, синхронизацию работы перечисленных элементов обеспечивает программированная схема выборки измерений, в которую закладывают телекоммуникационную программу, формируемую на ПЭВМ, на винчестер которой предварительно записывают калибровочные характеристики всех газовых датчиков контроллеров с их адресами.

Время адсорбции детектируемого газа (время измерения одного компонента) составляет порядка 40 миллисекунд, то есть система измерений обеспечивает высокую оперативность.

К недостаткам ближайшего аналога следует отнести:

- статичность измерителя, то есть привязку измерений к месту расположения измерителя;
- для контроля всей площади мегаполиса необходимо создавать систему измерений из нескольких измерителей, разнесенных по площади мегаполиса.

Задача, решаемая заявленным техническим способом, состоит в одномоментном измерении массы всех примесных газов во всей толще атмосферы над мегаполисом.

Поставленная задача решается тем, что способ мониторинга атмосферы мегаполисов включает размещение на беспилотном летательном аппарате спектрометра с широким полем зрения и экспресс-измерителя концентрации примесных газов в атмосфере на основе газовых датчиков с привязкой результатов измерений по координатам посредством аппаратуры потребителей системы позиционирования «ГЛОНАСС», зондирование тропосферы установленными средствами с поверхности Земли и с высоты выше стратифицированного слоя примесных газов ( $> 250$  м), расчет разницы энергии  $\Delta E$  между спектром одноразового и двухразового прохождения солнечного потока через слой примесных газов, определение количества квантовых переходов  $N_0$  через соотношение  $\Delta E$  к энергии одного кванта ( $h\nu$ ), расчет количества молей ( $M$ ) парниковых

газов  $M = \frac{N_0/2,72}{\text{число Авогадро}}$ , и их веса  $Q$  в объеме луча зондирования умножением на

средний молярный вес 20 г/моль молекулы парниковых газов, оценку концентрации парниковых газов через отношение их веса  $Q$  к объему луча зондирования  $V[\text{м}^3]$ , исчисляемого из угла поля зрения спектрометра и приведенной высоты стратифицированного слоя тропосферы для региона проведения измерений

$Q/V (\text{мг/м}^3)$ , корректировка полученного результата по измерениям экспресс-

измерителя концентрации примесных газов в тех же точках, что и измерения спектрометра.

Изобретение поясняется чертежами, где:

фиг.1 –трассы зондирования атмосферы спектрометром с поверхности Земли и высоты стратифицированного слоя;

фиг.2 – полосы (Лайма, Бальмера, Пашена) переизлучения газовых молекул при их столкновении с фотонами светового потока;

фиг.3 – эталонный (по Планку) солнечный спектр (а), спектры потоков однократно (б) и двукратно (в) прошедших загазованный слой атмосферы;

фиг.4 – значения концентрации примесных газов в каналах измерителя на основе газовых датчиков;

5 фиг.5 – функциональная схема устройства, реализующая способ.

Техническая сущность изобретения заключается в следующем. Молекулы так называемых парниковых газов, окиси азота ( $\text{NO}_2$ ), углерода ( $\text{CO}_2$ ), серы ( $\text{SO}_2$ ) и других, имеют молярный вес больше молекул воздуха: кислорода ( $\text{O}_2$ ), азота ( $\text{N}_2$ ), поэтому

10 остаются в нижнем слое тропосферы. Приземной слой тропосферы, в котором наблюдается максимальная концентрация загрязнителей для Центрального региона (Московская, Ивановская, Рязанская, Калужская, Владимирская, Смоленская области) составляет по высоте ~ до 250 метров [см., например, «Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий», ОНД-86, Госгидромет, СССР,

15 Ленинград, 1987 г., стр. 5]. Технический прогресс привел к массовому использованию беспилотных летательных аппаратов в интересах разведки. Использование дронов предоставляет возможность для обеспечения максимальной достоверности и точности измерений на практике применить метод просвечивания путем регистрации как падающего (у поверхности

20 Земли), так и отраженного светового потока над загрязненным слоем тропосферы. Загрязнение атмосферы в мегаполисах, непосредственно над промышленными площадками достигает единиц и даже десятков предельно допустимых концентраций (ПДК). Взаимодействие солнечного излучения с антропогенными частицами происходит на молекулярном уровне. При столкновении фотонов светового потока происходит

25 передача энергии квантов молекулам, которые переходят в возбужденное состояние (так называемые виртуальные уровни энергии) сопровождаемое переизлучением. Известны полосы переизлучения газовых молекул: Лаймана в ультрафиолете, Бальмера в видимом диапазоне, Пашена в ближнем инфракрасном диапазоне [см., например, А.С. Жданов «Учебник по физике» Наука, М., 1978 г., стр. 498-499]. Полосы

30 переизлучения газовых молекул иллюстрируются рисунком фиг. 2.

Переход с одного энергетического уровня на другой зависит от соотношения энергии молекул и квантов. Их взаимодействие определяется уравнением квантовой механики Шредингера [см., например, Советский энциклопедический словарь, стр. 1542].

35 Максимальная вероятность квантового перехода наблюдается при совпадении частоты внешнего возбуждающего поля с частотой Бора (квантового перехода).

Распределение молекул  $N_i$  по энергетическим уровням определяется распределением Больцмана [см., например, Советский энциклопедический словарь под ред. А.М. Прохорова, 4-е издание, Советская энциклопедия, М., 1989 г., стр. 154, Больцмана

40 распределение]:

$$N_i = N * e^{-E/KT},$$

средняя энергия молекул  $W = \frac{3}{2} KT^0,$

45 где  $K=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/градус, постоянная Больцмана;

$T^0$  – температура, по шкале Кельвина.

Энергия одного кванта  $W = h * \nu,$



где  $h$  – постоянная Планка, равная  $6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж\*сек;

$\nu$  – частота, равная скорости света  $c=3 \cdot 10^8$  м/с, деленная на длину волны  $\lambda$ , видимый диапазон  $\lambda \in 370 \dots 770$  Нм.

Полную энергию светового потока вычисляют по соотношению Рэлея [см., например, Заездный А.М., «Основы расчетов по статической радиотехнике», Связь-издательство, М., 1964 г., с. 93-94]:

$$W(\lambda) = \sum_i^n \left( \frac{I(\lambda)}{\lambda_i} \right)^2.$$

В результате комбинационного рассеяния солнечного света происходит перераспределение энергии между спектральными составляющими видимого диапазона, а регистрируемое спектрозональное изображение антропогенно загрязненных участков приобретает преимущественно оранжевый или темно-вишневый оттенок.

При всех видах возможного взаимодействия как то: поглощение, рассеяние, флуоресцентное переизлучение, интегральный эффект состоит в смещении спектра видимого диапазона в его длинноволновую часть (красное смещение). На рисунке фиг. 3 иллюстрируется эталонный ( $\lambda$ ) по (Планку) спектр и смещенные спектры после однократного (б) и двукратного (в) прохождения через загазованный слой атмосферы.

Очевидно, что чем больше смещение спектра и поглощение энергии светового потока, тем больше загрязнение атмосферы.

Выше приведенное соотношение Рэлея представляет собой интегральную сумму. Геометрический смысл интеграла – площадь под кривой. Средневзвешенное значение длины волны ( $\lambda_{cp}$ ) делит площадь под графиками фиг. 3 пополам. Средневзвешенное значение длины волны эталонного (по Планку) солнечного потока  $\lambda_{cp}$  (этал)=560Нм, соответственно потоков однократно и двукратно происхождения загазованного слоя атмосферы  $\lambda_{cpI}=630$ ,  $\lambda_{cpII}=660$ , как это иллюстрируется графиками фиг. 3.

Исходя из приведенных соотношений рассчитывают потери энергии  $\Delta E$  между спектрами одноразового и двухразового прохождения:

$$\Delta E = \sum_{360}^{770} \left( \frac{I(б)}{\lambda_i} \right)^2 - \sum_{360}^{770} \left( \frac{I(в)}{\lambda_i} \right)^2.$$

Поскольку геометрический смысл интеграла – площадь под кривой функции, то энергии спектров (при известных значениях ( $\lambda_{cp}$ )) могут быть вычислены количественно:

- Энергия эталонного спектра фиг. 4, а ( $\lambda_{cp} = 550$  Нм) составляет  $13 \cdot 10^{12}$

- Энергия спектра одноразового прохождения  $E_б = 8,2 \cdot 10^{12}$

- Энергия спектра двухразового прохождения  $E_в = 7,8 \cdot 10^{12}$

$$\Delta E = E_б - E_в = 0,4 \cdot 10^{12}.$$

Определяют количество квантовых переходов  $N$  как отношение затухания  $\Delta E$  к энергии одного кванта:



$$N_0 = \frac{\Delta E}{h\nu} = \frac{0,4 * 10^{12}}{6,626 * 10^{-34} * \frac{3 * 10^8}{0,6 * 10^{-4}}} = 0,36 * 10^{30}.$$

Поскольку существует вероятность перехода молекулы при столкновении с фотоном на любой виртуальный уровень (согласно графику фиг. 2), то количество столкновений молекул меньше количества квантовых переходов. Из уравнения Шредингера наибольшая вероятность квантового перехода наблюдается при совпадении энергии светового потока  $h\nu$  энергией молекулы  $h\nu = nKT$ , то есть  $N_i = e^{-1}$ . Таким образом, количество столкновений в диапазоне зондирования (или в диапазоне изменения энергии фотонов  $h\nu$ ) в 2,72 раза меньше количества квантовых переходов  $N_0$ :

$$N = N_0 / 2,72.$$

Вычисляют количество молей молекул парниковых газов ( $M$ ) в объеме луча зондирования:

$$M = \frac{N_0 / e}{\text{число Авогадро}} = \frac{0,36 * 10^{30} / 2,72}{6 * 10^{23}} = 0,22 * 10^6.$$

Парниковые газы по ЮНЕП, окислы углерода  $CO_2$ , окислы азота  $NO_2$ , окислы серы  $SO_2$ , углеводороды типа метан  $C_2H_4$  имеют средний молярный вес порядка 20 г/моль. Вычисляют общий вес ( $Q$ ) загрязнителей в объеме луча зондирования как:

$$Q = M * \text{молярный вес} = 0,44 * 10^7,$$

и их концентрацию как отношение веса ( $Q$ ) к объему ( $V$ ) луча зондирования:

$$Q/V \text{ (мг/м}^3\text{)}.$$

Сравнивают полученный результат с данными измерений концентрации парниковых газов на основе газовых датчиков (фиг. 4) по формуле аналога:

$$q_z = \sum_{n=i}^{n=5} \left[ m_i / CH_i \right]^j ;$$

Количественные оценки заявленного способа представлены ниже в примере реализации.

#### Пример реализации способа

Заявленный способ может быть реализован по схеме фиг. 5. Функциональная схема устройства фиг. 5 содержит беспилотный летательный аппарат (БПЛА) (1) с установленными на его борту спектрометром (типа «Астра»), экспресс измерителем концентрации примесных газов в атмосфере на основе газовых датчиков (3). Трассовую съемку запланированных районов (4) осуществляют по командам бортового комплекса управления (БКУ) (5), с привязкой кадров измерений по координатам от бортового устройства потребителей (6) навигационной системы позиционирования «ГЛОНАСС».

Результат измерений записывают в буферные запоминающие устройства (7). После посадки БПЛА записанную информацию через устройство ввода (8) скачивают в центр тематической обработки (9) в составе: адаптер (10), ПВЭМ (11) в стандартном наборе элементов: адаптер (12), винчестер (13), оперативное запоминающее устройство (14),

дисплей (15), принтер (16), клавиатура (17), устройство вывода информации в Интернет (18).

Для спектров эталонного, падающего и отраженного потоков (графики фиг. 4) приведенных к единому масштабу средневзвешенные значения длин волн составили:

$$\lambda_{\text{ср}} (\text{этал}) = 560 \text{ нм}, \lambda_{\text{ср}} (\text{б}) = 630 \text{ нм}, \lambda_{\text{ср}} (\text{в}) = 660 \text{ нм};$$

Соответственно энергии потоков:

$$E_{\text{этал}} = 13 \cdot 10^{12}; E_{\text{б}} = 8,2 \cdot 10^{12}; E_{\text{в}} = 7,8 \cdot 10^{12};$$

Разница энергий падающего и отраженного потоков:

$$E_{\text{б}} - E_{\text{в}} = \Delta E = 0,4 \cdot 10^{12};$$

Количество квантовых переходов:

$$N_0 = \frac{\Delta E}{h\nu} = 0,36 \cdot 10^{30};$$

Количество молей примесных газов в зондированном слое:

$$M = \frac{N_0 / 2,72}{\text{число Авогадро} = 6 \cdot 10^{23}} = 0,25 \cdot 10^6;$$

Молярный вес примесных газов:

$$Q = M \cdot 20 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 0,5 \cdot 10^7 [\text{г}];$$

Объем луча зондирования спектрометра:

$$V = 0,47 \cdot 10^9 \text{ м}^3;$$

Средняя концентрация примесных газов в стратифицированном слое:

$$q_{\Sigma} = 10,7 \text{ мг/л}; \quad q_{\Sigma} = \frac{0,5 \cdot 10^7 \text{ г}}{0,47 \cdot 10^9 \text{ м}^3};$$

Экспресс измерения суммарной концентрации примесных газов соответствует (фиг. 4):

$$q_{\Sigma} = 8,3 \text{ мг/м}^3$$

Разница индекса суммарной концентрации различных способов измерений составляет:

$$\Delta = 10,7 - 8,3 = 2,4 \text{ или } \frac{2,4}{10,7} \cong 22\%.$$

Из чего следует, что эффективность способа одномоментных измерений путем «просвечивания» атмосферы обладает большей точностью и достоверностью, поскольку учитывает всю гамму примесных газов, а также аэрозольные взвеси, пыль по сравнению со способами-аналогами. Способ может быть реализован на существующей технической базе.

#### (57) Формула изобретения

Способ мониторинга атмосферы мегаполисов включает размещение на беспилотном летательном аппарате спектрометра с широким полем зрения и экспресс-измерителя концентрации примесных газов в атмосфере на основе газовых датчиков с привязкой результатов измерений по координатам посредством аппаратуры потребителей системы позиционирования ГЛОНАСС, зондирование тропосферы установленными средствами

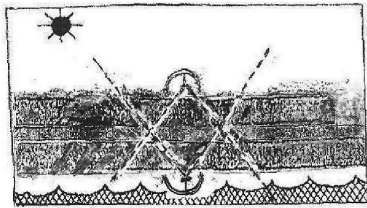
с поверхности Земли и с высоты выше стратифицированного слоя примесных газов (>250 м), расчет разницы энергии  $\Delta E$  между спектром одноразового и двухразового прохождения солнечного потока через слой примесных газов, определение количества квантовых переходов  $N_0$  через отношение  $\Delta E$  к энергии одного кванта ( $h\nu$ ), расчет количества молей ( $M$ ) парниковых газов

$$M = \frac{N_0 / 2,72}{\text{число Авогадро}},$$

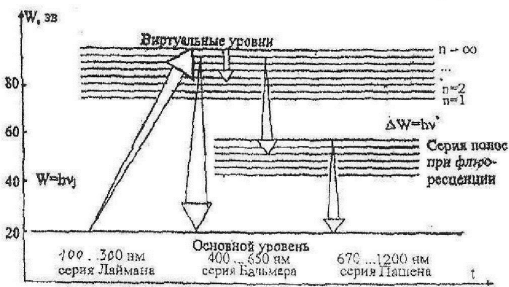
и их веса  $Q$  в объеме луча зондирования умножением на средний молярный вес 20 г/моль молекулы парниковых газов, оценку концентрации парниковых газов через отношение их веса  $Q$  к объему луча зондирования  $V[\text{м}^3]$ , исчисляемого из угла поля зрения спектрометра и приведенной высоты стратифицированного слоя тропосферы

для региона проведения измерений  $Q/V$  (мг/м<sup>3</sup>), корректировку полученного результата по измерениям экспресс-измерителя концентрации примесных газов в тех же точках, что и измерения спектрометра.

1

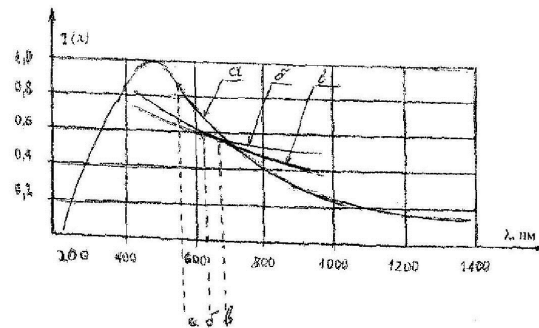


Фиг. 1

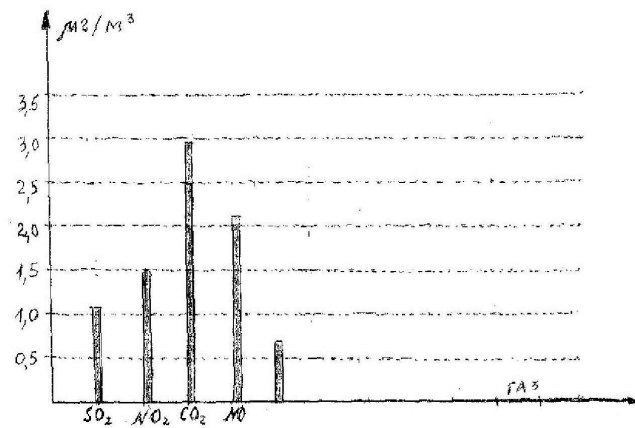


Фиг. 2

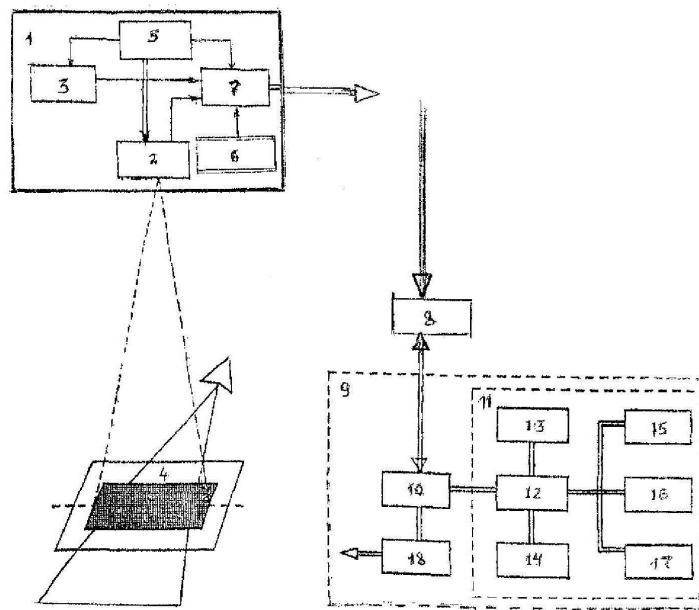
2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5