



(51) МПК  
 G01N 21/64 (2006.01)  
 G01N 21/65 (2006.01)  
 G01J 3/44 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014130158/28, 22.07.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.07.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.07.2014

(45) Опубликовано: 10.11.2015 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 2011292376 A1, 01.12.2011, RU  
2233438 C1, 27.07.2004, US 2005207943 A1,  
22.09.2005, US 2009024360 A1, 22.01.2009

Адрес для переписки:  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Морозова  
А.Н. (каф. ФН-4)

(72) Автор(ы):

Морозов Андрей Николаевич (RU),  
 Табалин Сергей Егорович (RU),  
 Новгородская Алла Викторовна (RU),  
 Глаголев Константин Владимирович (RU),  
 Васильев Николай Сергеевич (RU),  
 Голяк Илья Семенович (RU),  
 Есаков Артем Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) СПОСОБ ДИСТАНЦИОННОГО БЕСПРОБОТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И  
ИДЕНТИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ОБЪЕКТОВ ОРГАНИЧЕСКОГО  
ПРОИСХОЖДЕНИЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

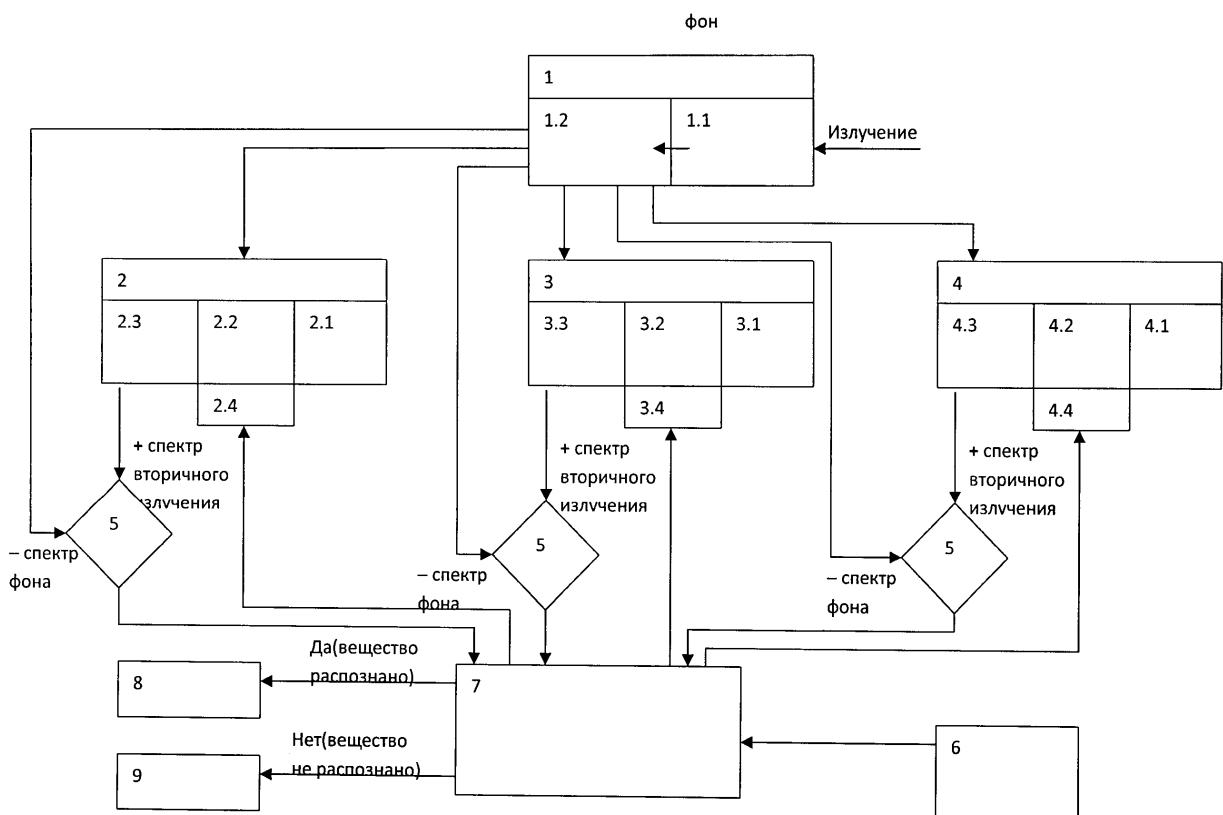
(57) Реферат:

Изобретение относится к области оптико-физических методов измерений и касается способа и устройства для обнаружения и идентификации химических веществ и объектов органического происхождения. Способ включает получение спектров комбинационного рассеяния (КР) и фотолюминесценции (ФЛ) вещества, разделение указанных спектров на компоненты КР и ФЛ, анализ компонентов КР и ФЛ и идентификацию вещества с использованием спектральных методов обработки. Для возбуждения ФЛ используют ультрафиолетовые светодиоды, для возбуждения КР используют излучение лазерного источника. В качестве регистрирующего

устройства используют статический Фурье-спектрометр, который формирует двумерный спектр из интерферограммы, которую регистрируют и запоминают в цифровом виде. Результирующую интерферограмму преобразуют в результирующий спектр с помощью быстрого преобразования Фурье. Окончательное решение об обнаружении и идентификации веществ принимают по результатам сравнения спектра с базой спектральных данных. Технический результат заключается в повышении чувствительности и уменьшении размеров устройства. 2 н. и 2 з.п. ф-лы, 8 ил.

С1  
9  
11  
7  
2  
5  
6  
7  
1  
1  
9  
С1  
RU

R  
U  
2  
5  
6  
7  
1  
1  
9  
C  
1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2014130158/28, 22.07.2014

(24) Effective date for property rights:  
22.07.2014

Priority:

(22) Date of filing: 22.07.2014

(45) Date of publication: 10.11.2015 Bull. № 31

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja ul., 5, str. 1,  
MGTU im. N.Eh. Baumana, TsZIS, dlja Morozova  
A.N. (kaf. FN-4)

(72) Inventor(s):

Morozov Andrej Nikolaevich (RU),  
Tabalin Sergej Egorovich (RU),  
Novgorodskaja Alla Viktorovna (RU),  
Glagolev Konstantin Vladimirovich (RU),  
Vasil'ev Nikolaj Sergeevich (RU),  
Goljak Il'ja Semenovich (RU),  
Esakov Artem Aleksandrovich (RU)

(73) Proprietor(s):

federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij  
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni  
N.Eh. Baumana" (MGTU im. N.Eh. Baumana)  
(RU)

(54) METHOD FOR REMOTE WIRELESS DETECTION AND IDENTIFICATION OF CHEMICAL SUBSTANCES AND ORGANIC OBJECTS AND DEVICE THEREFOR

(57) Abstract:

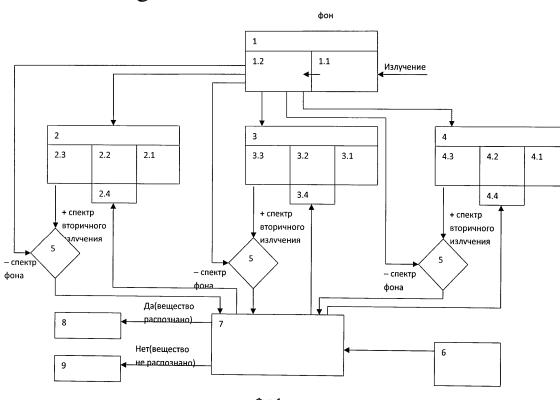
FIELD: physics.

SUBSTANCE: method includes obtaining Raman and fluorescence spectra of a substance, dividing said spectra into Raman scattering and fluorescence components, analysing the Raman scattering and fluorescence components and identifying the substance using spectral processing techniques. Fluorescence is excited using UV LEDs and Raman scattering is excited using radiation of a laser source. As the recording device a static Fourier spectrometer is used, which forms a two-dimensional spectrum from a fringe pattern, which is recorded and stored in digital form. The resultant fringe pattern is converted into the resultant spectrum via fast Fourier transform. A final decision on detection and identification of substances is made based on the results of comparing the spectrum with a

spectral database.

EFFECT: high sensitivity and smaller size of the device.

4 cl, 8 dwg



RU 2567119 C1

RU 2567119 C1

## Область техники

Изобретение относится к области оптико-физических методов определения состава химических веществ и объектов органического происхождения.

### Уровень техники

Наиболее информативными и эффективными методами дистанционного беспробоотборного определения состава различных веществ являются методы спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) и фотолюминесценции (ФЛ). Методы КР основаны на неупругом (комбинационном) рассеянии света молекулами, освещаемыми источником возбуждающего излучения, и позволяют по спектрам КР определять состав веществ с высокой селективностью. Для формирования спектров ФЛ используют различные типы источников возбуждающего излучения, начиная от галогенных ламп и заканчивая многочисленными полупроводниковыми светодиодами и лазерами. При переходе молекул анализируемого вещества из возбужденного состояния в основное состояние формируется вторичное излучение, представляющее собой спектр ФЛ.

Известно достаточно большое число технических решений, основанных как на методах спектроскопии КР, так и ФЛ. Методы ФЛ обладают более высокой чувствительностью по сравнению с методами спектроскопии КР, но менее селективны. При использовании только методов КР не достигается достаточной чувствительности, обеспечивающей возможность дистанционного анализа. При использовании только методов ФЛ не достигается необходимой селективности.

Известны способы дистанционного обнаружения отравляющих веществ (ОВ), в частности способ (Патент РФ №2155954, МПК G01N 21/64, опубл. 12.03.1997 г.), основанный на дистанционном зондировании атмосферы лазерным излучением длиной волны 266 нм и регистрации как фоновых характеристик атмосферы, так и интенсивностей сигналов люминесценции аэрозолей ОВ в диапазоне от 300 до 440 нм, который позволяет определять наличие или отсутствие аэрозолей ОВ на трассе зондирования.

Однако данный метод не обеспечивает возможности селективного обнаружения и идентификации различных типов ОВ.

Известен способ дистанционного обнаружения и идентификации объектов органического происхождения (Патент РФ 2233438, МПК G01N 21/64, опубл. 27.07.2004). Предложенный способ включает в себя дистанционное импульсное зондирование исследуемого объекта лазерным излучением, регистрацию и запись спектров вторичного излучения, сравнение характеристик спектров излучения исследуемого образца со спектром эталонного образца, включенного в базу данных устройства непосредственно перед началом проведения лазерного зондирования исследуемого объекта. Для дистанционного зондирования формируют два независимых канала наблюдения и регистрации, при этом в первом канале используют импульсное лазерное излучение в диапазоне 0,8...1,6 мкм, а во втором - в диапазоне 0,26...0,38 мкм. Требуемую расходимость лазерного излучения, а также пространственное сканирование исследуемого объекта формируют и осуществляют также независимо для каждого канала. Высокую достоверность правильного распознавания достигают за счет использования для сравнения предварительно снятого частотно-временного паспорта эталонного образца, включающего в себя предложенные авторами параметры спектров КР и ЛИФ (лазерно-индуцированная флуоресценция).

Недостатком предложенного способа является необходимость использования достаточно габаритных и энергоемких источников возбуждающего излучения, что не

позволяет использовать данное техническое решение для создания малогабаритных переносных устройств.

Известны также способы и устройства обнаружения и идентификации различных веществ, основанные на одновременном использовании КР и ФЛ.

- 5 В заявке US 20080084555 (МПК G01J 3/36, опубл. 10.04.2008) описаны способы и устройства, предназначенные для одновременного формирования и регистрации спектров КР и ФЛ. Устройства содержат сменные лазерные источники: многоволновой лазер или лазер с фиксированной длиной волны; сменные фильтры, вырезающие длину волны возбуждающего излучения (458 нм, 488 нм, 515 нм); монохроматор или
- 10 спектрограф с детекторным блоком, содержащим два детектора, один из которых предназначен для регистрации спектров КР в спектральном диапазоне 480...580 нм, а второй - спектров ФЛ в диапазоне 950...1200 нм.

Недостатком предложенного способа является то, что интенсивность регистрируемого вторичного излучения делится между двумя детекторами, что снижает 15 пороговые значения чувствительности каждого канала в отдельности. Отсутствие оптоволоконных жгутов препятствует применению предложенного устройства в натурных условиях.

Известны способ и устройство, описанные в заявке US 20060232781 (МПК G01B 9/02, G01J 3/45, опубл. 19.10.2006), основанные на использовании светосильного 20 статического Фурье-спектрометра для регистрации спектров пропускания с целью определения жидкостей и газов, помещаемых в специализированной камере с оптоволоконным входом и выходом. Устройство содержит оптический источник, сопряженный с оптическим волокном; камеру для исследуемых образцов; оптоволоконный жгут с микрооптической насадкой; объектив, согласующий оптический 25 выход оптоволоконного зонда с входом статического Фурье-спектрометра, представляющего собой интерферометр Майкельсона со светоделительным кубиком с двумя зеркальными гранями, одна из которых при этом представляет собой ступенчатое зеркало, обеспечивающее необходимую модуляцию разности хода; детектор, фоточувствительные элементы которого оптически согласованы с положением ступенек 30 одного из зеркал светоделительного кубика; контроллер и сигнальный процессор для преобразования аналоговых сигналов детектора и блок электроники с графическим интерфейсом для отображения результатов анализа.

Устройство предназначено для регистрации спектров пропускания проб исследуемых жидких и газообразных сред и не может быть использовано для беспробоотборного и 35 тем более дистанционного анализа. Кроме того, одно из зеркал светоделительного кубика представляет собой синтезированную ступенчатую структуру, покрытую отражающим покрытием, что требует жесткой привязки фоточувствительных элементов детектора с положением светоделительного кубика, что ограничивает апертуру светоделительного кубика (0,45×0,45 мм на выходе светоделительного кубика) и, 40 соответственно, светосилу приемного тракта регистрирующего устройства.

Наиболее близким по технической сущности к патентуемому изобретению является способ определения вещества методами комбинационного рассеяния и фотолюминесценции и устройство, его реализующее (Заявка US 20110292376, МПК G01J 1/58, G01J 3/02, опубл. 01.12.2011). Способ включает получение спектров КР и ФЛ, 45 разделение указанных спектров на компоненты КР и ФЛ, анализ КР и ФЛ компонентов и идентификацию вещества с использованием набора спектральных методов обработки. Устройство, реализующее способ, содержит сменный источник лазерного излучения, коллимационную систему, разъем для смены лазеров, систему подсветки для

одновременного получения спектров КР и ФЛ вещества, детектор, блок обработки сигналов.

К недостаткам предложенного способа можно отнести низкую чувствительность, а к недостаткам устройства - громоздкость конструкции.

5 **Раскрытие изобретения**

Техническим результатом изобретения является существенное повышение чувствительности обнаружения и идентификации химических веществ при одновременном снижении габаритов оптоволоконного зонда.

Технический результат достигается тем, что предложенный способ дистанционного

- 10 беспробоотборного обнаружения и идентификации химических веществ и объектов органического происхождения включает получение спектров комбинационного рассеяния (КР) и фотолюминесценции (ФЛ) вещества, разделение указанных спектров на компоненты КР и ФЛ, анализ компонентов КР и ФЛ и идентификацию вещества с использованием спектральных методов обработки. При этом для регистрации спектров
- 15 вторичного излучения ФЛ и КР формируют один общий приемный канал. Для возбуждения ФЛ формируют зондирующее излучение ультрафиолетовых светодиодных источников двух различных длин волн, для возбуждения КР - излучение лазерной источника. В качестве регистрирующего устройства используют светосильный статический Фурье-спектрометр, формирующий на выходе двумерный спектр, который
- 20 получают быстрым преобразованием Фурье из интерферограммы, которую регистрируют и запоминают в цифровом виде с помощью матричного фотоприемного устройства. Для исключения влияния фоновых засветок осуществляют регистрацию спектров вторичного излучения при последовательном возбуждении источниками излучений с различными длинами волн, при этом также периодически проводят
- 25 регистрацию фоновых спектров при выключенных источниках возбуждающих излучений и из спектров вторичного излучения вычитают фоновые спектры. При регистрации интерферограмм вторичного излучения осуществляют автоматическую установку экспозиции, определяемую фактическим временем обнаружения и идентификации веществ, в диапазоне от минимального значения, определяемого быстродействием
- 30 матричного фотоприемного устройства и блока обработки сигналов, до максимального программно устанавливаемого значения; для увеличения отношения сигнал/шум осуществляют накопление запоминаемых в статическом Фурье-спектрометре интерферограмм с получением результирующей интерферограммы. Выполняют исправление этой результирующей интерферограммы с использованием оптической
- 35 маски, представляющей собой двумерную функцию, учитывающую геометрические искажения оптических элементов регистрирующего устройства, которую предварительно регистрируют с использованием когерентного излучения лазерного источника с известной длиной волны и запоминают в памяти устройства для последующего использования. Результирующую интерферограмму преобразуют в результирующий
- 40 спектр с помощью быстрого преобразования Фурье. Окончательное решение об обнаружении и идентификации веществ принимают по результатам сравнения результирующего спектра со спектрами, составляющими рабочую базу спектральных данных, предварительно зарегистрированными, запомненными в памяти устройства и включающими в себя спектры обнаруживаемых веществ, зарегистрированные с
- 45 использованием всех указанных источников возбуждающего излучения.

Устройство, реализующее указанный способ, содержит сменный источник лазерного излучения, разъем для смены лазерных источников, коллимационную систему, систему подсветки для одновременного получения спектров КР и ФЛ веществ, детектор, блок

обработки сигналов. При этом оно включает в себя одновременно светодиодные и лазерный источники возбуждающего излучения, оптически сопряженные с помощью стандартных SMA оптических разъемов с оптоволоконным жгутом, содержащим передающие излучения каналы и один приемный канал, объединенные и оптически

- 5 сопряженные с объективом коллимационной системы. Приемный канал оптоволоконного жгута через SMA оптический разъем и заграждающий фильтр для вырезания длины волны лазерного источника возбуждающего излучения сопряжен с оптическим трактом статического Фурье-спектрометра. Указанный оптический тракт состоит из светоделительного кубика, представляющего собой гипотенузную склейку
- 10 двух призм со скошенными отражающими зеркальными гранями, изготовленных из оптического материала, имеющего максимальный коэффициент пропускания в заданном спектральном диапазоне, и предназначенных для формирования двумерных интерференционных картин, и из объектива, проецирующего интерференционную картину на матричное фотоприемное устройство, формирующее измерительный сигнал,
- 15 пропорциональный интенсивности интерференционной картины, для его передачи в компьютерный блок обработки сигналов, управления режимами работы источников возбуждающего излучения и индикации.

Компьютерный блок обработки сигналов, управления режимами работы источников возбуждающего излучения и индикации, статический Фурье-спектрометр с матричным

20 фотоприемным блоком и съемный заграждающий фильтр могут быть размещены в едином корпусе и электрически сопряжены с системой вторичного электропитания.

Устройство также может быть выполнено с возможностью подключения дополнительных внешних источников возбуждающего излучения с использованием предусмотренных дополнительных передающих каналов в оптоволоконном жгуте и

25 соответствующих цепей питания в системе вторичного электропитания устройства.

Перечень фигур

Фиг. 1 - алгоритм способа беспробоотборного дистанционного обнаружения и идентификации химических веществ и объектов органического происхождения;

Фиг. 2 - блок-схема устройства, реализующего заявленный способ;

30 Фиг. 3 - схема специализированного оптоволоконного зонда;

Фиг. 4 - блок-схема статического Фурье-спектрометра (СФС);

Фиг. 5 - схема светоделительного кубика СФС;

Фиг. 6 - пример регистрируемых интерферограмм для  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ;

Фиг. 7 - пример исправленных интерферограмм для  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ;

35 Фиг. 8 - пример принятия решения при обнаружении и идентификации (таблица 1).

Осуществление изобретения

Алгоритм способа дистанционного беспробоотборного обнаружения и идентификации химических веществ и объектов органического происхождения представлен на фиг. 1.

40 Для исключения влияния фоновых засветок периодически осуществляют регистрацию спектров вторичного излучения при выключенных источниках возбуждающего излучения 1. Сначала формируется двумерная интерференционная картина 1.1, которая преобразуется в спектр 1.2.

В соответствии с заявленным способом, для возбуждения ФЛ используют излучение полупроводниковых светодиодов УФ диапазона двух различных длин волн, а для возбуждения КР - излучение УФ лазерного источника, при этом зондирование исследуемой поверхности осуществляют при последовательном включении светодиодов одной длины волны 2, затем другой длины волны 3, затем лазера 4. Сначала

формируется двумерная интерференционная картина (2.1, 3.1, 4.1), затем осуществляется исправление зарегистрированной интерферограммы с использованием оптической маски (2.2, 3.2, 4.2), исправленная интерферограмма преобразуется в спектр (2.3, 3.3, 4.3) и источник излучения выключается (2.4, 3.4, 4.4).

- 5 Для повышения отношения сигнал/шум дополнительно применен метод накопления интерферограмм, при этом время экспозиции (накопления) устанавливается автоматически по фактическому времени распознавания и идентификации от минимального уровня, определяемого быстродействием фотоприемного устройства (ФПУ) и блока обработки и управления микропроцессорного (БОУМ) 7 до 10 максимального уровня, устанавливаемого программно. Процесс накопления (экспозиция) прекращается автоматически при осуществлении распознавания и идентификации 8 либо нераспознавания и неидентификации 9.

Для исключения влияния геометрических искажений осуществляют исправление зарегистрированной интерферограммы с использованием оптической маски (двумерной 15 аппаратной функции, учитывающей все геометрические дефекты оптических трактов и элементов регистрирующей аппаратуры) (пример на фиг. 6 и 7). Оптическую маску предварительно регистрируют с использованием излучения когерентного источника с известной длиной волны и записывают в память БОУМ.

Исправленные интерферограммы обрабатывают методом быстрого преобразования 20 Фурье в сумматоре 5 и получают результирующие спектры, которые корреляционно сравнивают со спектрами, составляющими рабочую базу спектральных данных 6, предварительно зарегистрированных с использованием различных источников возбуждающего излучения, и записанных в память БОУМ.

Пример осуществления изобретения 25 Для распознавания веществ используют способ одновременного освещения исследуемого объекта двумя источниками возбуждающего излучения с длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  и реализации совместной процедуры распознавания по двум спектральным 30 диапазонам ( $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ) для семи веществ (см. таблица фиг. 8). Решение об обнаружении и идентификации принимают методом совместной обработки результатов распознавания для каждого из использованных для возбуждения светодиодов и лазерных источников.

Устройство для дистанционного беспробоотборного обнаружения и идентификации химических веществ содержит (фиг. 2) блок сменных объективов 10, при этом каждый из сменных объективов рассчитан на свое значение расстояния до исследуемой 35 поверхности и оптически сопряжен с оптическим зондом оптоволоконного жгута 12, по которому возбуждающее излучение Уф светодиодов, сгруппированных в блоки по длинам волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  (блоки 14 и 15 соответственно) и выбираемых из диапазона длин волн в зависимости от заданного перечня обнаруживаемых веществ, поступает по передающим каналам оптоволоконного жгута 12 в оптический зонд и через объектив блока 10 проецируется на исследуемую поверхность. Оптическое сопряжение 40 передающих каналов оптоволоконного жгута 12 с блоками светодиодов 14 и 15 осуществляется с помощью стандартных оптических разъемов 23. Вторичное излучение (ФЛ), рассеянное исследуемой поверхностью, собирается тем же объективом блока 10, и через приемный волоконный канал 22 оптического зонда (фиг. 3) поступает на 45 оптический вход светосильного статического Фурье-спектрометра (СФС) 18 также через стандартный оптический разъем 23 (устройство СФС 18 показано на фиг. 4). Блоки светодиодных излучателей 14 и 15 конструктивно могут быть объединены с СФС 18 или вынесены в отдельный осветительный блок. Измерительный сигнал с выхода

СФС 18 поступает в БОУМ 7, который помимо обработки измерительной информации осуществляет управление работой всех источников возбуждающего излучения 11, 14, 15 и 16. Источник 11 представляет собой осветитель, в корпусе которого размещены две группы многоплощадочных светодиодов с длинами волн, аналогичными

5 используемым в блоках 14 и 15.

Осветитель 11 может быть использован вместо оптоволоконного жгута 12 с блоком сменных объективов 10 для более эффективного возбуждения ФЛ. При этом формируются открытые каналы для возбуждающего излучения, а рассеянное вторичное излучение проецируется приемным объективом на входной срез оптического зонда, 10 который имеет такую же апертуру, как и оптический зонд оптоволоконного жгута 12, за исключением того, что в оптоволоконном жгуте 13 осветителя 11 все волокна приемные, чем достигается большая светосила оптоволоконного приемного канала по сравнению со жгутом 12.

Для возбуждения КР в устройстве используют УФ лазерный источник 16. Для

15 обеспечения эффективной регистрации спектров КР, формируемых при использовании источника 16 в приемный оптический канал СФС 18, вводят блок сменных вырезающих фильтров 17. Фильтр выбирают в зависимости от длины волны лазерного источника 16 и он предназначен для вырезания излучения на длине волны возбуждения из спектра вторичного излучения.

20 Конструктивно лазерный источник 16 представляет собой отдельный блок, управляемый единым блоком 7. Результат обработки измерительной информации выводится на средства индикации устройства, реализованные в блоке 20. Система вторичного электропитания 21 обеспечивает возможность работы устройства как от промышленной, так и бортовой сети.

25 На фиг. 3 представлена схема оптоволоконного зонда 10 и примерный вид (А-А) сечения синтезированной апертуры оптоволоконного зонда 10. В зонд собираются световоды оптоволоконного жгута 12:

- приемный волоконный канал 22 (белые круги) со стандартным SMA оптическим разъемом 23;

30 - передающие волоконные каналы 24, 25, 26 (на Фиг. 3 заштрихованные круги).

Такая конструкция сечения 27 зонда 10 обеспечивает более эффективное использование апертуры зонда для сбора и передачи вторичного излучения исследуемых образцов и возможность дистанционного анализа с использованием всего лишь одного проекционного объектива.

35 На Фиг. 4 представлена блок-схема статического Фурье-спектрометра (СФС) 18. Возбуждающее излучение формируется узлом излучателей с двумя УФ светодиодными источниками с разными длинами волн и лазером 18.6. По передающим каналам 24, 25, 26 через объектив 19 зонда 10 возбуждающее излучение попадает на исследуемую поверхность. Вторичное излучение формируется тем же объективом 19 зонда 10 и

40 передается на оптический вход блока СФС 18 по приемному каналу 22.

Объектив, согласующий 18.1, обеспечивает равномерную засветку светоделительного элемента 18.2. Светоделительный элемент 18.2 представляет собой склейку двух призм со скошенными зеркальными гранями и предназначен для формирования двумерной интерференционной картины, которая с помощью объектива проекционного

45 малогабаритного 18.3 проецируется в плоскость ФПУ (матричная ПЗС-камера) 18.4. Светоделительный кубик (Фиг. 5) оптического тракта СФС изготавливают из двух призм методом склейки. Призмы должны быть изготовлены из кварца, прозрачного в ультрафиолетовой области спектра без полос поглощения, нелюминесцирующего.

Геометрические размеры призм должны быть обеспечены с точностью 1 мкм, углы с точностью не более  $\pm 30$  угловых секунд. На одну из плоскостей (катет) каждой из призм наносят просветляющее покрытие, на другую плоскость (катет) - зеркальное покрытие. На плоскость гипотенузы одной из призм должно быть нанесено светоделительное

5 покрытие, обеспечивающее светоделение в отношении 1/1. При изготовлении необходимо для обеспечения симметричного расхождения лучей, формирующих двумерную интерферограмму, соблюсти с точностью до 1 мкм равенство расстояний (отрезков, отмеченных на фиг. 5 двумя штрихами) от центра светоделительного кубика до отражающих граней призм.

10 Для обеспечения электропитанием всех функциональных узлов и блоков СФС предназначена плата питания и управления 18.7, которая обеспечивает также возможность подзарядки аккумуляторных батарей 18.8 при работе от внешних источников электропитания из состава системы вторичного электропитания 21. В состав системы вторичного электропитания 21 входят источники вторичного электропитания 15 (ИВП-1), предназначенные для работы от промышленной сети и ИВП-2 - от бортовой сети. В дополнение к ним входит также зарядное устройство.

Сигнал с ФПУ 18.4 поступает для обработки в блок микропроцессорный 18.5. Результат обработки далее поступает в блок средств индикации 18.9 и в блоки 20 управления 7 и индикации 20, обеспечивающие световую и звуковую индикацию. Блоки управления 7 и индикации 20 предназначены также для обеспечения удобства управления работой прибора, включения/выключения прибора, а также для переключения режимов работы.

После накопления регистрируемых интерферограмм в цифровом виде с помощью 25 матричного фотоприемного устройства и получения результирующих интерферограмм (результирующие, но не исправленные интерферограммы для длин различных волн излучения  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  показаны на фиг. 6) выполняют исправление этих результирующих интерферограмм с использованием оптической маски (исправленные интерферограммы показаны на фиг. 7), затем из исправленных интерферограмм получают спектры с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) и далее вычисляют коэффициенты 30 корреляции спектров исследуемого вещества со спектрами отдельных веществ, составляющими рабочую базу спектральных данных в памяти БОУМ.

В таблице 1 (фиг. 8) показаны результаты (при облучении на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ) обнаружения и идентификации по средним арифметическим величинам коэффициентов 35 корреляции спектров экспериментального вещества со спектрами отдельных веществ, составляющими рабочую базу спектральных данных. Пороговым значением среднего арифметического коэффициентов корреляции для обнаружения и идентификации веществ была взята общепринятая величина 80%. В результате обработки экспериментальных данных примера осуществления способа было признано 40 обнаруженным и идентифицированным только одно из семи корреляционно значимых (с коэффициентами корреляции не менее 50%) веществ.

Заявленный способ дистанционного беспробоотборного обнаружения и идентификации химических веществ и объектов органического происхождения и 45 устройство для его осуществления реализованы в приборе, который в настоящее время проходит испытания, результаты которых подтверждают правильность принятых технических решений.

#### Формула изобретения

##### 1. Способ дистанционного беспробоотборного обнаружения и идентификации

химических веществ и объектов органического происхождения, включающий получение спектров комбинационного рассеяния (КР) и фотолюминесценции (ФЛ) вещества, разделение указанных спектров на компоненты КР и ФЛ, анализ компонентов КР и ФЛ и идентификацию вещества с использованием спектральных методов обработки,

- 5 отличающийся тем, что для регистрации спектров вторичного излучения ФЛ и КР формируют один общий приемный канал; для возбуждения ФЛ формируют зондирующее излучение ультрафиолетовых светодиодных источников двух различных длин волн, для возбуждения КР - излучение лазерного источника; в качестве регистрирующего устройства используют статический Фурье-спектрометр,
- 10 формирующий на выходе двумерный спектр, который получают быстрым преобразованием Фурье из интерферограммы, которую регистрируют и запоминают в цифровом виде с помощью матричного фотоприемного устройства; для исключения влияния фоновых засветок осуществляют регистрацию спектров вторичного излучения при последовательном возбуждении источниками излучений с различными длинами
- 15 волн, при этом также периодически проводят регистрацию фоновых спектров при выключенных источниках возбуждающих излучений и из спектров вторичного излучения вычитают фоновые спектры; при регистрации интерферограмм вторичного излучения осуществляют автоматическую установку экспозиции, определяемую фактическим временем обнаружения и идентификации веществ, в диапазоне от минимального
- 20 значения, определяемого быстродействием матричного фотоприемного устройства и блока обработки сигналов, до максимального программно устанавливаемого значения; для увеличения отношения сигнал/шум осуществляют накопление запоминаемых в статическом Фурье-спектрометре интерферограмм с получением результирующей интерферограммы; выполняют исправление этой результирующей интерферограммы
- 25 с использованием оптической маски, представляющей собой двумерную функцию, учитывающую геометрические искажения оптических элементов регистрирующего устройства, которую предварительно регистрируют с использованием когерентного излучения лазерного источника с известной длиной волны и запоминают в памяти устройства для последующего использования; результирующую интерферограмму
- 30 преобразуют в результирующий спектр с помощью быстрого преобразования Фурье; окончательное решение об обнаружении и идентификации веществ принимают по результатам сравнения результирующего спектра со спектрами, составляющими рабочую базу спектральных данных, предварительно зарегистрированными, запомненными в памяти устройства и включающими в себя спектры обнаруживаемых
- 35 веществ, зарегистрированные с использованием всех указанных источников возбуждающего излучения.

2. Устройство, реализующее способ по п. 1, содержащее сменный источник лазерного излучения, разъем для смены лазерных источников, коллимационную систему, систему подсветки для одновременного получения спектров КР и ФЛ веществ, детектор, блок обработки сигналов, отличающееся тем, что оно включает в себя одновременно светодиодные и лазерный источники возбуждающего излучения, оптически сопряженные с помощью стандартных SMA оптических разъемов с оптоволоконным жгутом, содержащим передающие излучения каналы и один приемный канал, объединенные и оптически сопряженные с объективом коллимационной системы; приемный канал оптоволоконного жгута через SMA оптический разъем и заграждающий фильтр для вырезания длины волны лазерного источника возбуждающего излучения сопряжен с оптическим трактом статического Фурье-спектрометра; указанный оптический тракт состоит из светоделительного кубика, представляющего собой гипотенузную склейку

двух призм со скошенными отражающими зеркальными гранями, изготовленных из оптического материала, имеющего максимальный коэффициент пропускания в заданном спектральном диапазоне, и предназначенных для формирования двумерных интерференционных картин, и из объектива, проецирующего интерференционную

5 картину на матричное фотоприемное устройство, формирующее измерительный сигнал, пропорциональный интенсивности интерференционной картины, для его передачи в компьютерный блок обработки сигналов, управления режимами работы источников возбуждающего излучения и индикации.

3. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что компьютерный блок обработки

10 сигналов, управления режимами работы источников возбуждающего излучения и индикации, статический Фурье-спектрометр с матричным фотоприемным блоком и съемный заграждающий фильтр размещены в едином корпусе и электрически сопряжены с системой вторичного электропитания.

4. Устройство по п. 2, отличающееся тем, что выполнено с возможностью

15 подключения дополнительных внешних источников возбуждающего излучения с использованием предусмотренных дополнительных передающих каналов в оптоволоконном жгуте и соответствующих цепей питания в системе вторичного электропитания устройства.

20

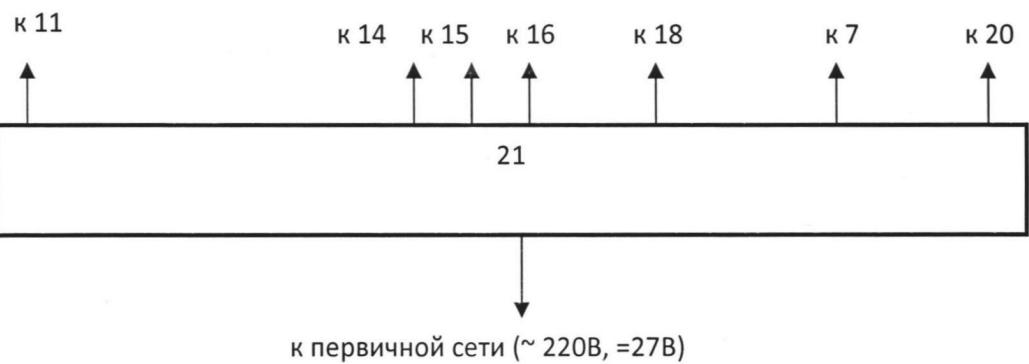
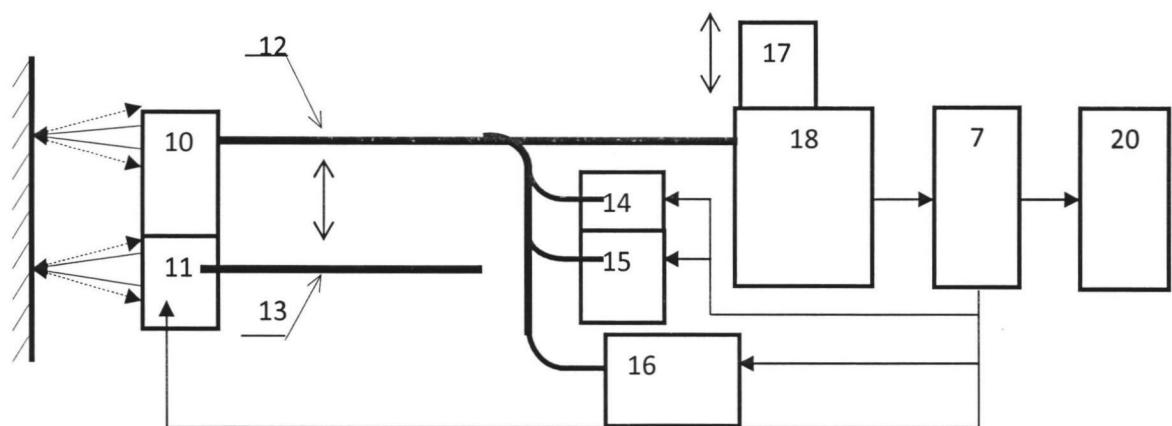
25

30

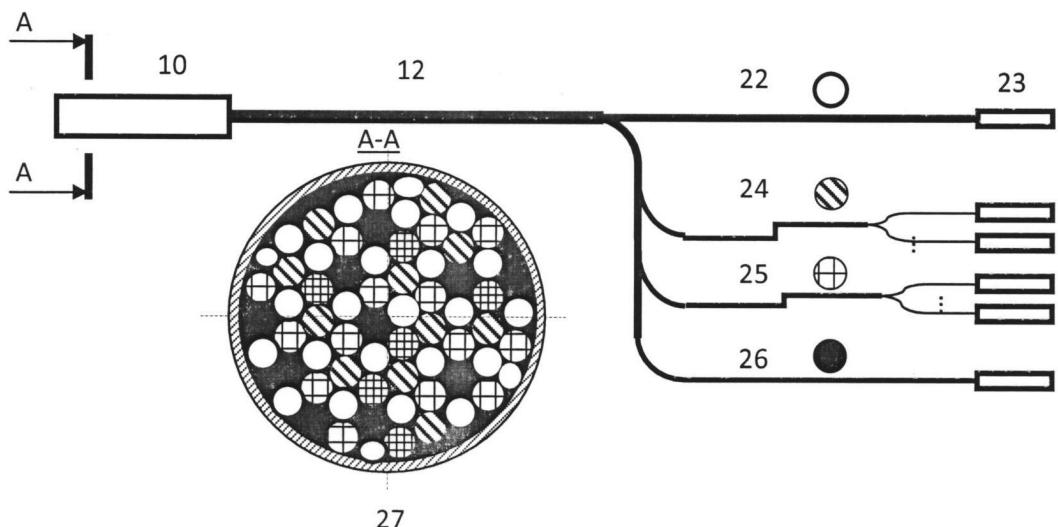
35

40

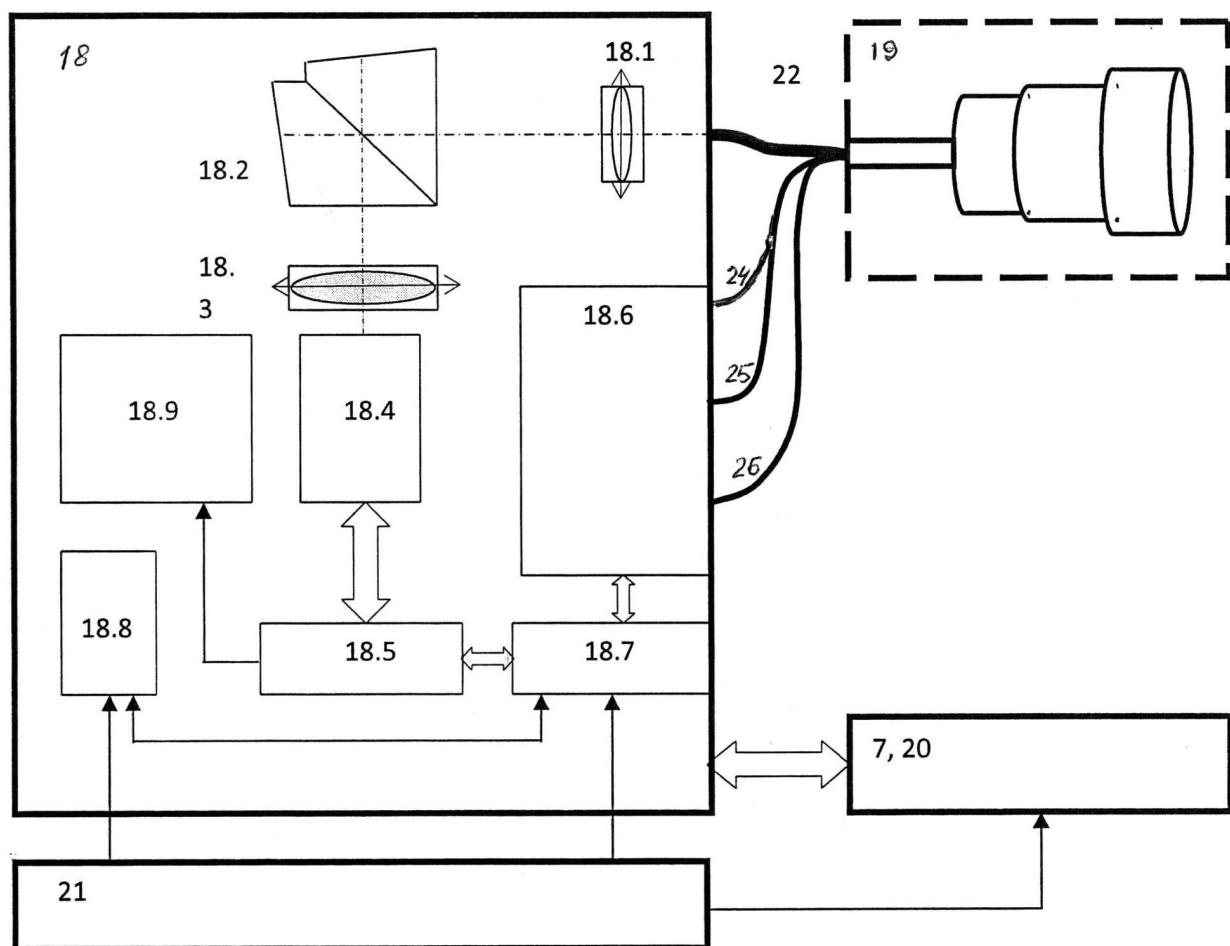
45



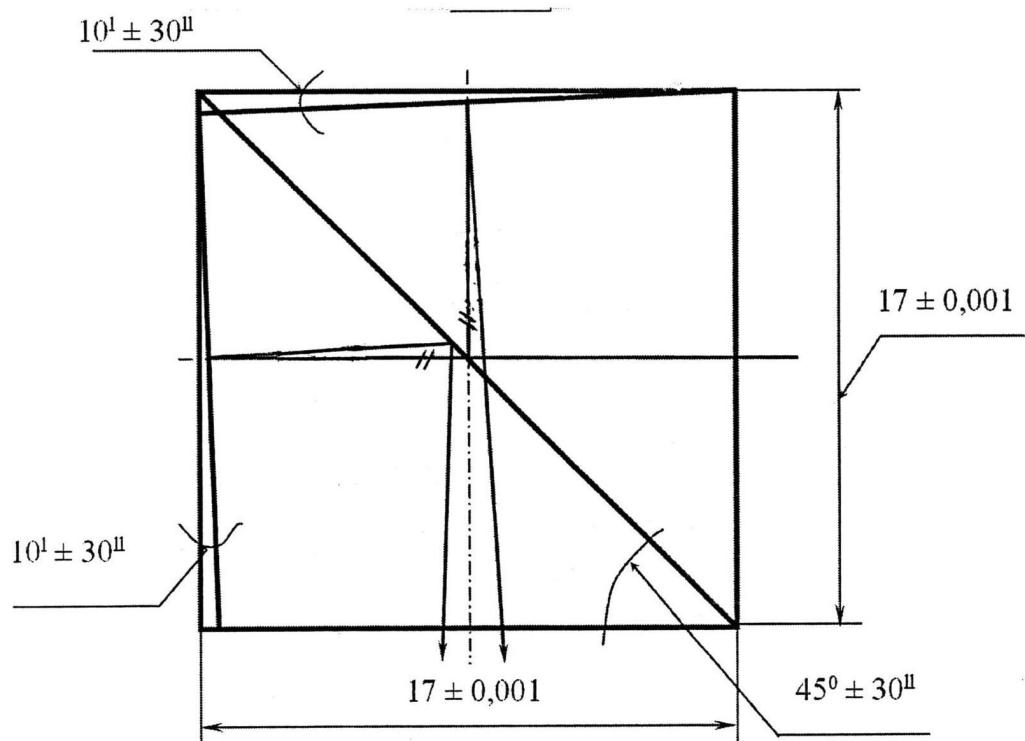
Фиг. 2



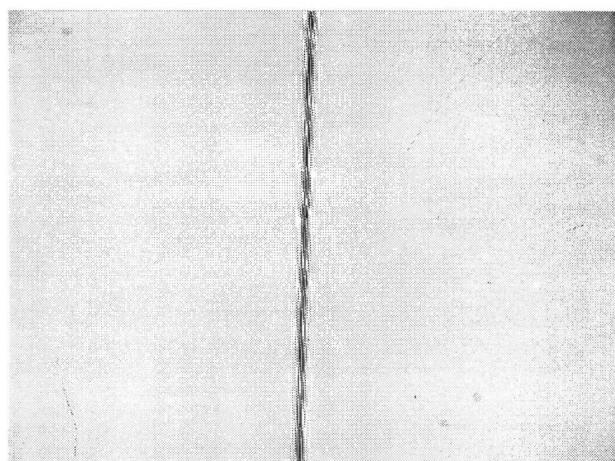
Фиг. 3



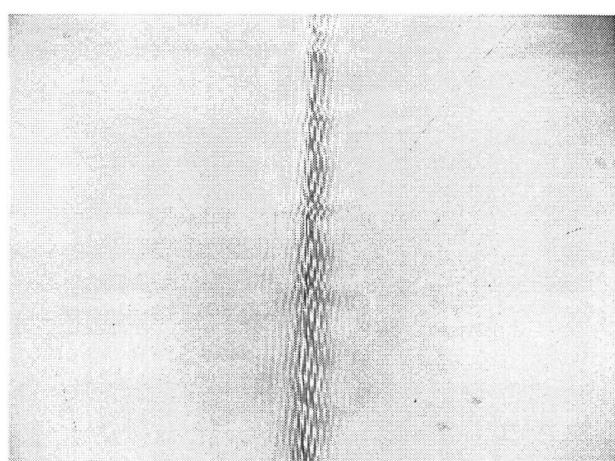
Фиг. 4



Фиг. 5

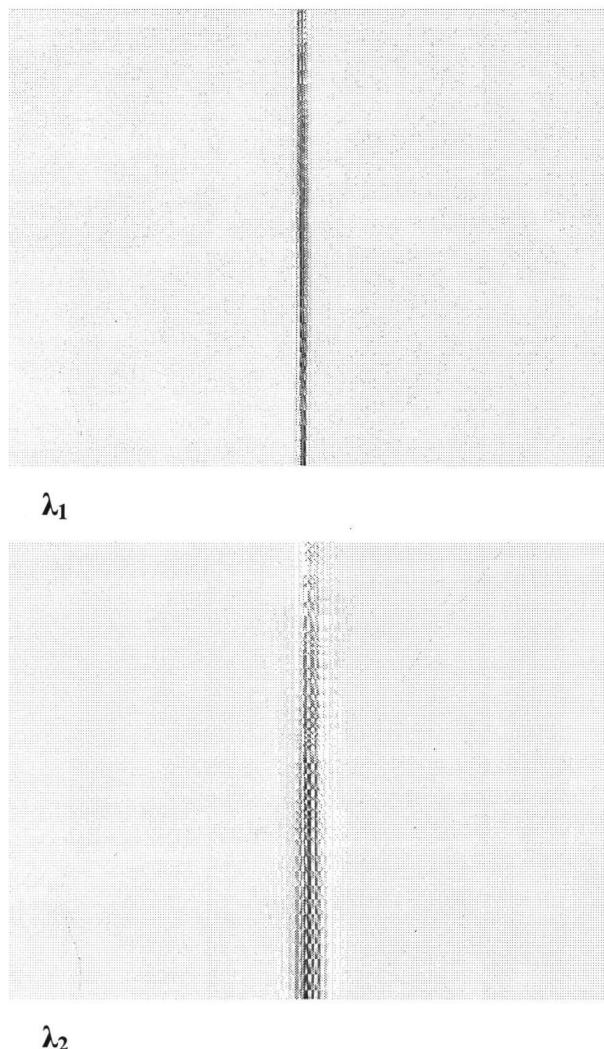


$\lambda_1$



$\lambda_2$

Фиг. 6



Фиг. 7

Таблица 1. Обнаружение и идентификация веществ.

| Наименование вещества | Значение коэффициента корреляции |                 |  | Результаты эксперимента   |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------|--|---|
|                       | Для $\lambda_1$                  | Для $\lambda_2$ | Среднее арифметическое для $\lambda_1$ и $\lambda_2$ |   |
| Вещество 1            | 72%                              | 97%             | 84,5%  | Вещество идентифицировано                                       |
| Вещество 2            | 65%                              | 88%             | 76,5%  | Отсено  |
| Вещество 3            | 63%                              | 88%             | 75,5%  | Отсено  |
| Вещество 4            | 68%                              | 84%             | 76,0%  | Отсено  |
| Вещество 5            | 61%                              | 90%             | 75,5%  | Отсено  |
| Вещество 6            | 62%                              | 85%             | 73,5%  | Отсено  |
| Вещество 7            | 64%                              | Ниже 50%        | -  | Коэффициент корреляции для $\lambda_2$ ниже порога 50%. Отсено. |

Фиг. 8