

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 841 509** (13) **C1**

(51) МПК

[G01J 3/24 \(2006.01\)](#)[G02B 5/18 \(2006.01\)](#)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 10.06.2025)  
 Пошлина: учтена за 5 год с 16.11.2028 по 15.11.2029. Установленный срок для уплаты пошлины за 6 год: с 16.11.2028 по 15.11.2029. При уплате пошлины за 6 год в дополнительный 6-месячный срок с 16.11.2029 по 15.05.2030 размер пошлины увеличивается на 50%.

Начисление для уплаты  
пошлины за поддержание  
патента в силе

(52) СПК

[G01J 3/24 \(2025.01\)](#); [G02B 5/18 \(2025.01\)](#)(21)(22) Заявка: [2024134203](#), 15.11.2024(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
15.11.2024Дата регистрации:  
06.06.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.11.2024

(45) Опубликовано: [06.06.2025](#) Бюл. № [16](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: В. И. Казаков, А. С. Параскун "Решеточный спектральный прибор с возможностью работы в высших дифракционных порядках", Сборник трудов XXI международной молодежной конференции "Волновая электроника и ее применения в информационных и телекоммуникационных системах", 2018 г., стр. 165-171. RU 181375 U1, 11.07.2018. US 7180590 B2, 20.02.2007. US

2012176615 A1, 12.07.2012.

Адрес для переписки:

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, лит. А, ГУАП, ЦКНИ

(72) Автор(ы):

Казаков Василий Иванович (RU),  
 Китаев Вениамин Вадимович (RU),  
 Параскун Артур Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

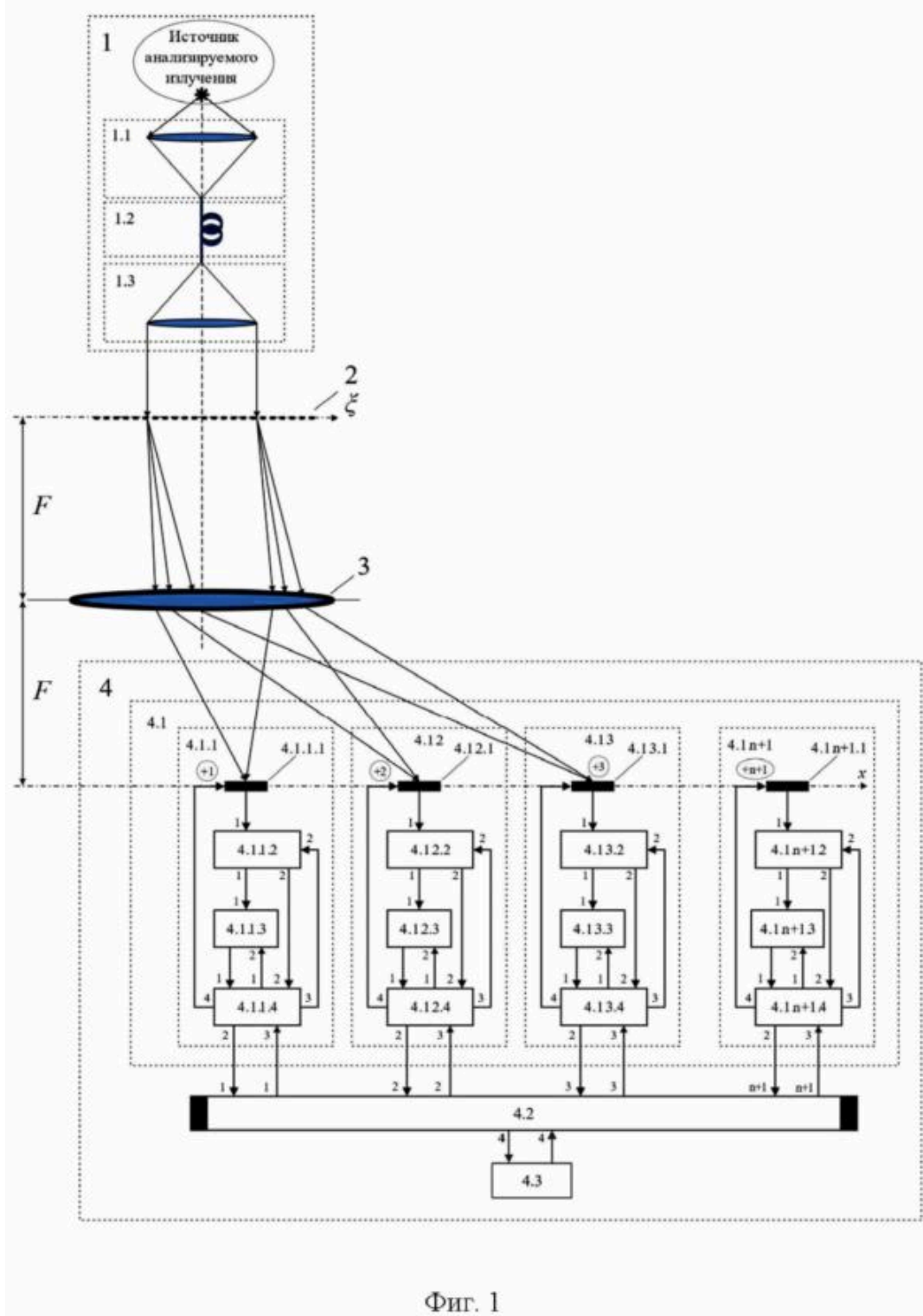
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения" (RU)

## (54) Многоканальный дифракционный оптический спектральный прибор

(57) Реферат:

Изобретение относится к области оптической спектроскопии и касается многоканального дифракционного оптического спектрального прибора. Спектральный прибор содержит последовательно расположенные и оптически связанные волоконно-оптическую систему передачи анализируемого излучения, дифракционную решетку, объектив и фотоэлектронную часть. Дифракционная решетка выполнена с штрихами в виде прозрачных полос с шириной  $a$  и непрозрачных полос с шириной  $b$  и  $c$ , которые образуют в пределах одного периода решетки  $T_g$  последовательность по формуле:  $T_g = a + b + a + b + a + c$ , причем  $a = 1$ ,  $b = 1$  и  $c = 2,85$ . Фотоэлектронная часть содержит фотоприемную часть, центральный блок обработки полученных сигналов и персональную ЭВМ. Фотоприемная часть состоит минимум из трех идентичных оптических каналов, каждый из которых содержит

последовательно соединенные фотоприемный блок, блок усиления полученных сигналов, блок аналого-цифрового преобразования и блок обработки полученных сигналов. Технический результат заключается в обеспечении возможности одновременной работы с разной разрешающей способностью и диапазоном анализируемых длин волн и увеличении интенсивности света в высших дифракционных порядках.



Изобретение относится к дифракционным спектрометрам и технике оптической спектроскопии и, может быть, использовано в качестве прибора контроля различных физических процессов.

Известно устройство «Спектрофотометр многоканальный», (Патент РФ № 66523, МПК G01J 3/18, опубликован 10.09.2007).

Спектрофотометр многоканальный, содержащий оптически-связанные источники излучения, осветительную систему, входную щель, вогнутую дифракционную решетку, регистрирующую систему, состоящую из набора позиционно-чувствительных линейных приемников излучения, отличающийся тем, что перед каждым четным приемником излучения регистрирующего устройства, введено

оптически связанное с дифракционной решеткой плоское зеркало с острыми краями на рабочей поверхности, при этом оно установлено на расстоянии от вершины решетки равном или меньшем  $l'=d'(1-\Delta'/b)$ , где  $d'$  - расстояние от вершины решетки до фокальной поверхности для каждой длины волны;  $b$  - ширина заштрихованной поверхности решетки;  $\Delta$  - величина допустимой фаски на остром крае определяется технологическими возможностями получения кромок без сколов.

В качестве недостатков указанного первого устройства-аналога можно выделить неспособность дистанционного спектрального анализа источника оптического излучения, а также ограниченность спектрального диапазона устройства в виду использования источника оптического излучения как осветительной системы.

Известно устройство «Многоканальный спектрометр», (Патент РФ № 81800, МПК G01J 3/00, опубликован 27.03.2009).

Многоканальный спектрометр, содержащий корпус с горизонтальной оптической схемой, включающей входную щель, находящуюся в фокусе вогнутого входного зеркала, оптически связанного с плоской дифракционной решеткой, расположенной на расстоянии  $0,85$  фокусного расстояния вогнутого выходного зеркала, в фокусе которого расположен многоэлементный фотодетектор, соединенный с электронным блоком управления и регистрации выходных сигналов, отличающийся тем, что дифракционная решетка и выходное зеркало установлены на поворотных платформах с возможностью вращения относительно оси, проходящей через центры их поверхностей и перпендикулярные меридиональной плоскости, оборудованных ограничителями поворота, при этом ограничители поворота выходного зеркала не допускают попадание нормали, восстановленной к краю зеркальной поверхности выходного зеркала, ближайшего к входному зеркалу, на рабочую поверхность дифракционной решетки.

В качестве недостатков указанного второго устройства-аналога можно выделить зависимость точности юстировки зеркал от перестройки механической системы перестройки зеркал, что приводит к отклонению спектроскопической информации относительно эталонных данных, а так же к недостаткам можно отнести влияние нулевого порядка за счет его переотражения на дифракционную решетку с последующим возникновением «паразитного» спектра.

Наиболее близким из числа известных технических решений является «Дифракционный решеточный спектральный прибор», (Патент RU №181375, МПК G01J 3/18, G01J 3/24, G02B 5/18 опубликован 11.07.2018).

При освещении коллимирующей системы светом от исследуемого источника формируется параллельный пучок света, который падает на дифракционную решетку. Этот пучок дифрагирует на решетке, в результате чего спектральные составляющие света от исследуемого источника разделяются по направлению распространения и фокусируются камерным объективом на различных участках блока регистрации спектрометрической информации (ПЗС-линейке).

Недостатком устройства-прототипа является возможность работы только в одном высшем  $+4$  дифракционном порядке, т.к. интенсивность света в более высоких дифракционных порядках значительно уменьшается. При этом разрешающая способность дифракционного решеточного спектрального прибора улучшается пропорционально номеру дифракционного порядка.

Задачей изобретения является создание многоканального оптического спектрального прибора с применением дифракционной решетки с нестандартной топологией, который даёт возможность получения дифракционной картины одинаковой интенсивности в  $1, 2$  и  $3$  дифракционных порядках.

Техническим результатом является возможность одновременной работы прибора с разной разрешающей способностью и диапазоном анализируемых длин волн, за счет введения нескольких оптических каналов, а также использования дифракционной решетки с нестандартной топологией, что в свою очередь позволяет увеличить интенсивность света в высших дифракционных порядках.

Технический результат достигается тем, что многоканальный дифракционный оптический спектральный прибор содержит последовательно расположенные и оптически связанные волоконно-оптическую систему передачи анализируемого излучения, содержащую блок ввода оптического излучения в волокно, оптическое волокно, и блок вывода оптического излучения из волокна, и расположенные на одной оптической оси дифракционная решётка и камерный объектив, а также фотозлектронную часть, при этом дифракционная решетка выполнена на оптически прозрачной подложке с нанесенными на нее штрихами в виде чередующихся параллельных друг другу прозрачных полос с шириной  $a$  и непрозрачных полос с шириной  $b$  и  $c$ , образующих в пределах одного периода решетки  $T_g$

последовательность прозрачных и непрозрачных полос, при этом прозрачные полосы с шириной  $a$  и непрозрачные полосы с шириной  $b$  и  $c$ , образуют в пределах одного периода решетки  $T_g$  последовательность по формуле:  $T_g = a + b + a + b + a + c$ , причем  $a = 1$ ,  $b = 1$  и  $c = 2,85$  соответственно, а фотоэлектронная часть содержит фотоприемную часть, центральный блок обработки полученных сигналов и персональную ЭВМ, а фотоприемная часть состоит минимум из трех идентичных оптических каналов, каждый из которых содержит последовательно соединенные фотоприемный блок, блок усиления полученных сигналов, блок аналого-цифрового преобразования и блок обработки полученных сигналов, первый выход которого соединен со вторым входом блока аналого-цифрового преобразования, а третий и четвертый выходы - со вторым входом блока усиления полученных сигналов и входом фотоприемного блока соответственно, а второй выход блока усиления полученных сигналов соединен со вторым входом блока обработки полученных сигналов, при этом  $n+1$  выходов центрального блока обработки полученных сигналов соединены с третьими входами  $n+1$  блоков обработки полученных сигналов и входом персональной ЭВМ, а  $n+1$  входов центрального блока обработки полученных сигналов соединены со вторыми выходами блоков обработки полученных сигналов и выходом персональной ЭВМ, причем фотоприемные блоки оптически связаны с камерным объективом.

Технический результат достигается за счет введения новых блоков и модификации блока из указанного аналога-прототипа, что дает возможность получения дифракционной картины одинаковой интенсивности в 1, 2 и 3 дифракционных порядках, за счёт введения независимых оптических каналов, а также модификации конфигурации дифракционной решетки, которая выполнена на оптически прозрачной подложке с нанесенными на нее штрихами в виде чередующихся параллельных друг другу прозрачных полос с относительной шириной  $a$  и непрозрачных полос с относительной шириной  $b$  и  $c$ , образующих в пределах одного периода решетки  $T_g$  последовательность по формуле:  $T_g = a + b + a + b + a + c$ , причем  $a = 1$ ,  $b = 1$ ,  $c = 2,85$ .

Указанный технический результат достигается за счет формирования топологии дифракционной решетки с описанным в формуле расположением штрихов позволяет перераспределить дифрагированный свет между дифракционными порядками. При освещении прибора монохроматическим излучением с частотой  $\omega'$  на входе блока регистрации спектрометрической информации формируется многопорядковая картина, которая описывается выражением [1]:

$$S(x) = a \sum_{n=-N}^N C_n \frac{\sin[(n\omega(x) - \omega')T_a(x)/2]}{(n\omega(x) - \omega')x / c_0 F},$$

где  $a$  - коэффициент пропорциональности,

$$\omega(x) = \left( k \frac{2\pi}{T_g} c_0 F / x \right) - \text{временная спектральная частота,}$$

$k$  - волновое число,

$$T_a(x) = L_x / 2c_0 F - \text{время анализа,}$$

$c_0$  - скорость света,

$F$  - фокусное расстояние линзы (камерного объектива),

$L$  - апертура решетки,

$T_g$  - период решетки,

$N$  - число учитываемых дифракционных порядков,

$C_n$  - коэффициенты разложения комплексного ряда Фурье функции прозрачности

решетки  $T(\xi)$ :

$$T(\xi) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \exp(in\Omega_g \xi),$$

в которой  $n$  соответственно определяет соответствующий номер дифракционного порядка,  $\Omega_g = \frac{2\pi}{T_g}$ . Таким образом каждый коэффициент  $C_n$  пропорционален

интенсивности света в соответствующем дифракционном порядке, а присутствие множителя  $n$  в выражении  $\frac{\sin[(n\omega(x) - \omega')T_a(x)/2]}{(n\omega(x) - \omega')x / c_0 F}$  говорит о том, что

разрешающая способность прибора кратно увеличивается с номером дифракционного порядка. Расположение штрихов согласно последовательности, описанной в формуле изобретения, приводит к тому, что коэффициенты  $C_n$  в разложении функции

прозрачности решетки  $T(\xi)$  при  $n = 1, 2$  и  $3$  оказываются одинаковыми, что позволяет работать одновременно в этих порядках.

Технический результат достигается за счет введения новых блоков и связей между ними, которые позволяют одновременно регистрировать несколько оптических сигналов, за счет введения дополнительных оптических каналов, что в свою очередь позволяет регистрировать интенсивность оптического излучения в высших дифракционных порядках.

Применение волоконно-оптической системы передачи анализируемых излучений позволяет передавать анализируемое излучение на расстояние, измеряемое километрами и тем самым исключить непосредственный контакт прибора с источником излучения.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на фиг. 1 - общая структурная схема многоканального дифракционного решеточного спектрального прибора, на фиг. 2 - пример топологии дифракционной решетки, на фиг. 3 - изменение коэффициентов разложения функции пропускания решетки, на фиг. 4 - результат расчета относительной интенсивности дифракции в дифракционной решетке, и введены следующие обозначения:

1 - волоконно-оптическая система передачи анализируемого излучения;

1.1 - блок ввода оптического излучения в волокно;

1.2 - оптическое волокно;

1.3 - блок вывода оптического излучения из волокна;

2 - дифракционная решетка;

3 - камерный объектив;

4 - фотоэлектронная часть;

4.1 - фотоприемная часть;

4.1.1 - первый оптический канал;

4.1.1.1 - первый фотоприемный блок;

4.1.1.2 - первый блок усиления полученных сигналов;

4.1.1.3 - первый блок аналого-цифрового преобразования;

4.1.1.4 - первый блок обработки полученных сигналов;

4.1.2 - второй оптический канал;

4.1.2.1 - второй фотоприемный блок;

4.1.2.2 - второй блок усиления полученных сигналов;

4.1.2.3 - второй блок аналого-цифрового преобразования;

4.1.2.4 - второй блок обработки полученных сигналов;

4.1.3 - третий оптический канал;

4.1.3.1 - третий фотоприемный блок;

4.1.3.2 - третий блок усиления полученных сигналов;

4.1.3.3 - третий блок аналого-цифрового преобразования;

4.1.3.4 - третий блок обработки полученных сигналов;

4.2 - центральный блок обработки полученных сигналов;

4.3 - персональная ЭВМ.

Устройство содержит: последовательно расположенные и оптически связанные волоконно-оптическую систему передачи анализируемого излучения 1, содержащую блок ввода оптического излучения в волокно 1.1, оптическое волокно 1.2, и блок вывода оптического излучения из волокна 1.3, и расположенные на одной оптической оси на одной оптической оси дифракционную решетку 2, камерный объектив 3 с фокусным расстоянием  $F$ , который оптически связан со входами как минимум трех идентичных оптических каналов 4.1.1, 4.1.2 и 4.1.3, которые входят в состав фотоприемной части 4.1, которая наряду с центральным блоком обработки полученных сигналов 4.2 и персональной ЭВМ 4.3 входит в состав фотоэлектронной части 4, при этом каждый оптический канал содержит последовательно соединенные фотоприемный блок 4.1.1.1, блок усиления полученных сигналов 4.1.1.2, блок аналого-цифрового преобразования 4.1.1.3 и блок обработки полученных сигналов 4.1.1.4, первый выход которого соединен со вторым входом блока аналого-цифрового преобразования 4.1.1.3, а третий и четвертый выходы - со вторым входом блока усиления полученных сигналов 4.1.1.2 и входом фотоприемного блока 4.1.1.1 соответственно, а второй выход блока усиления полученных сигналов 4.1.1.2 соединен со вторым входом блока обработки полученных сигналов 4.1.1.4, при этом  $n+1$  выходов центрального блока обработки полученных сигналов 4.2 соединены с третьими входами  $n+1$  блоков обработки полученных сигналов 4.1.1.4 и входом персональной ЭВМ 4.3, а  $n+1$  входов центрального блока обработки полученных сигналов 4.2 соединены со вторыми выходами блоков обработки полученных сигналов 4.1.1.4 и выходом персональной ЭВМ 4.3.

В качестве блока ввода оптического излучения в волокно 1.1 может быть использован, из сферической положительной фокусирующей линзы, помещенной в корпус, с системой котировочных винтов и возможностью перемещения линзы вдоль оптической оси для достижения максимальной эффективности ввода оптического излучения в волокно.

В качестве оптического волокна 1.2 может быть использовано стандартное оптическое волокно SMF-28 Ultra со стандартным разъемом типа FC фирмы Corning [1].

Блок вывода оптического излучения из волокна 1.3 может быть выполнен из сферической положительной фокусирующей линзы, помещенной в корпус, с системой котировочных винтов и возможностью перемещения линзы вдоль оптической оси для достижения максимальной эффективности вывода оптического излучения из волокна и формирования оптического пучка с заданными характеристиками.

Камерный объектив 3 может быть выполнен, например, из сферической положительной фокусирующей линзы с фокусным расстоянием  $F$  с применением системы коррекции аберраций, астигматизма и пр.

В качестве первого, второго и третьего фотоприёмного блока 4.1.1.1, 4.1.2.1, 4.1.3.1 и 4.1.n+1.1 может быть использована ПЗС-камера, например камера SL-TCD компании Авеста [2].

В качестве блока усиления входных сигналов 4.1.1.2, 4.1.2.2, 4.1.3.2. и 4.1.n+1.2 может быть использована схема, состоящая из нескольких каскадов на основе операционного усилителя, например компании Analog Devices [3].

В качестве блока аналого-цифрового преобразователя 4.1.1.3, 4.1.2.3, 4.1.3.3 и 4.1.n+1.3 может быть реализован преобразователь на основе микросхемы компании Analog Devices [4], Texas Instruments [5].

В качестве блоков обработки полученных сигналов может быть использованы электронные решающие устройства, производящие сравнение и анализ электрических сигналов, например на базе микроконтроллера или ПЛИС, например компании Intel [6] или Xilinx [7].

Устройство работает следующим образом: оптическое излучение из источника излучения попадает на блок ввода оптического излучения 1.1 в оптическое волокно 1.2, по которому анализируемое излучение передается на необходимое расстояние и поступает на блок вывода оптического излучения из волокна 1.3, который обеспечивает оптимальный вывод анализируемого излучения из волокна и формирование волнового пучка с необходимыми характеристиками для дальнейшего анализа спектра, с выхода блока вывода оптического излучения из волокна 1.3 волновой пучок поступает на дифракционную решетку 2, где дифрагирует и спектральные составляющие разделяются по направлению и фокусируются камерным объективом 3 на первый 4.1.1.1, второй 4.1.2.1 и третий 4.1.3.1 и n+1 фотоприемные блоки, расположенные на оптической плоскости, которые входят в состав аналогичных друг другу оптических каналов: 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 и 4.1. n+1, где первый блок 4.1.1.1 преобразует оптические сигналы в электрические, затем полученный электрический сигнал поступает с выхода первого фотоприемного блока 4.1.1.1 на вход первого блока усиления полученных сигналов 4.1.1.2, где происходит усиление полученных сигналов, коэффициент усиления которого может изменяться при получении цифрового сигнала с выхода первого блока обработки полученных сигналов 4.1.1.4 на вход первого блока усиления полученных сигналов 4.1.1.2. Затем усиленный сигнал с выхода первого блока усиления полученных сигналов 4.1.1.2 поступает на вход первого блока аналого-цифрового преобразования 4.1.1.3, где усиленный сигнал преобразовывается из аналогового в цифровой, затем преобразованный сигнал полученной информации в цифровом виде поступает на вход блока обработки полученных сигналов 4.1.1.4, где происходит сбор, обработка и преобразование полученных сигналов в итоговый информационный пакет об окружающих процессах, при этом блок обработки полученных сигналов 4.1.1.4 также управляет работой блока аналого-цифрового преобразования 4.1.1.3, а также первого фотоприемного блока 4.1.1.1 для синхронизации работы указанных блоков, аналогичным образом считывание и обработка спектроскопической информации происходит во втором 4.1.2, третьем 4.1.3 и n+1 оптических каналах, затем полученные и обработанные сигналы с выходов блоков обработки полученных сигналов 4.1.1.4, 4.1.2.4 и 4.1.3.4 поступают на входы центрального блока обработки полученных сигналов 4.2, где собранная информация суммируется со всех каналов и составляется единая картина об окружающих процессах и отправляется в персональную ЭВМ 4.3.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что достижение технического результата дифракционным решеточным спектральным прибором обеспечивается

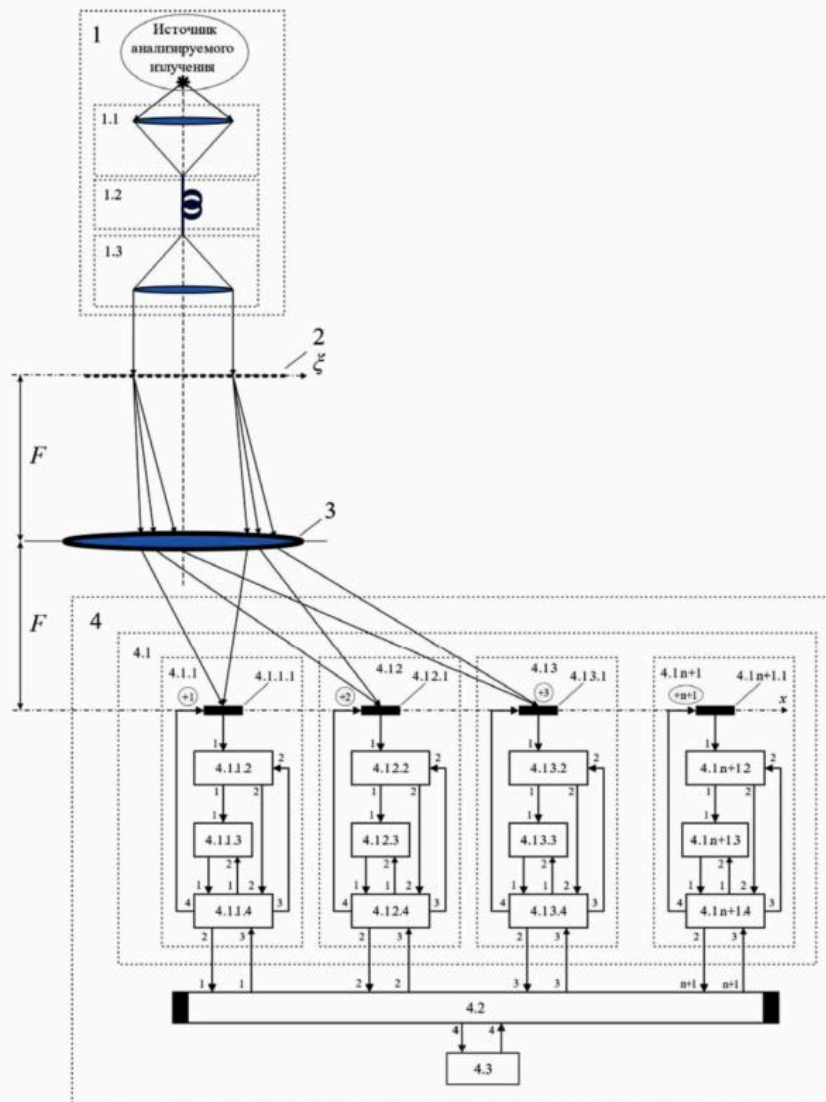
применением дифракционной решетки 2 с топологией, описанной в формуле изобретения, а также введением дополнительных каналов обработки оптической информации, которые позволяют одновременно регистрировать несколько оптических сигналов, что в свою очередь позволяет регистрировать интенсивность оптического излучения в высших дифракционных порядках.

Источники информации, принятые во внимание:

1. SMF-28 Ultra single-mode optical fibers combine industry-leading attenuation, acrobend performance exceeding ITU-T G657.A1, and 9.2  $\mu\text{m}$  mode field diameter. // Corning: URL: <https://www.corning.com/optical-communications/worldwide/en/home/products/fiber/optical-fiber-products/smf-28-ultra.html> (дата обращения: 30.10.2024).
2. Авеста-Проект - SL-TCD. Компактный сенсор с USB интерфейсом // Авеста: URL: <https://avesta.ru/product/sl-tcd/> (дата обращения: 30.10.2024).
3. General Purpose Op Amps // Analog Devices: URL: <https://www.analog.com/en/parametricsearch/11085#/> (дата обращения: 30.10.2024).
4. High Speed A/D Converters >10 MSPS // Analog Devices: URL: <https://www.analog.com/en/parametricsearch/10826#/> (дата обращения: 30.10.2024).
5. Analog-to-digital converters (ADCs) // Texas Instruments: URL: <https://www.ti.com/data-converters/adc-circuit/products.html> (дата обращения: 30.10.2024).
6. Altera® FPGA and SoC FPGA // Altera: URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/details/fpga.html> (дата обращения: 30.10.2024).
7. AMD FPGAs // AMD: URL: <https://www.amd.com/en/products/adaptive-socs-and-fpgas/fpga.html> (дата обращения: 30.10.2024).

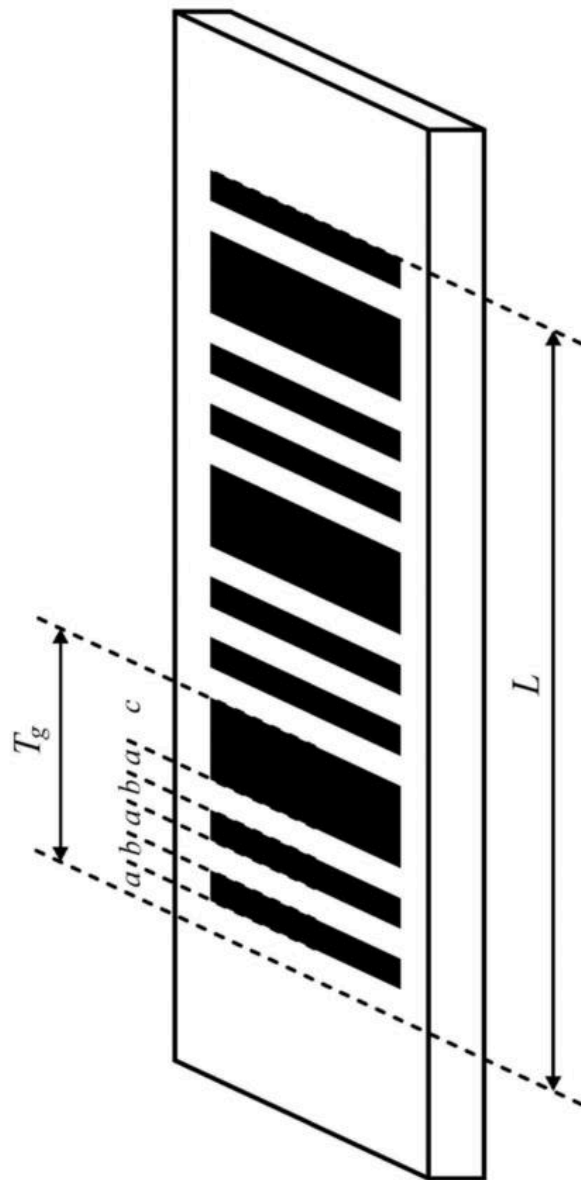
#### Формула изобретения

Многоканальный дифракционный оптический спектральный прибор, содержащий последовательно расположенные и оптически связанные волоконно-оптическую систему передачи анализируемого излучения, содержащую блок ввода оптического излучения в волокно, оптическое волокно, и блок вывода оптического излучения из волокна, и расположенные на одной оптической оси дифракционную решетку и камерный объектив, а также фотоэлектронную часть, при этом дифракционная решетка выполнена на оптической прозрачной подложке с нанесенными на нее штрихами в виде чередующихся параллельных друг другу прозрачных полос с шириной  $a$  и непрозрачных полос с шириной  $b$  и  $c$ , образующих в пределах одного периода решетки  $T_g$  последовательность прозрачных и непрозрачных полос, отличающийся тем, что прозрачные полосы с шириной  $a$  и непрозрачные полосы с шириной  $b$  и  $c$  образуют в пределах одного периода решетки  $T_g$  последовательность по формуле:  $T_g = a + b + a + b + a + c$ , причем  $a = 1$ ,  $b = 1$  и  $c = 2,85$  соответственно, при этом фотоэлектронная часть содержит фотоприемную часть, центральный блок обработки полученных сигналов и персональную ЭВМ, а фотоприемная часть состоит минимум из трех идентичных оптических каналов, каждый из которых содержит последовательно соединенные фотоприемный блок, блок усиления полученных сигналов, блок аналого-цифрового преобразования и блок обработки полученных сигналов, первый выход которого соединен со вторым входом блока аналого-цифрового преобразования, а третий и четвертый выходы – со вторым входом блока усиления полученных сигналов и входом фотоприемного блока соответственно, а второй выход блока усиления полученных сигналов соединен со вторым входом блока обработки полученных сигналов, при этом  $n+1$  выходов центрального блока обработки полученных сигналов соединены с третьими входами  $n+1$  блоков обработки полученных сигналов и входом персональной ЭВМ, а  $n+1$  входов центрального блока обработки полученных сигналов соединены со вторыми выходами блоков обработки полученных сигналов и выходом персональной ЭВМ, причем фотоприемные блоки оптически связаны с камерным объективом.

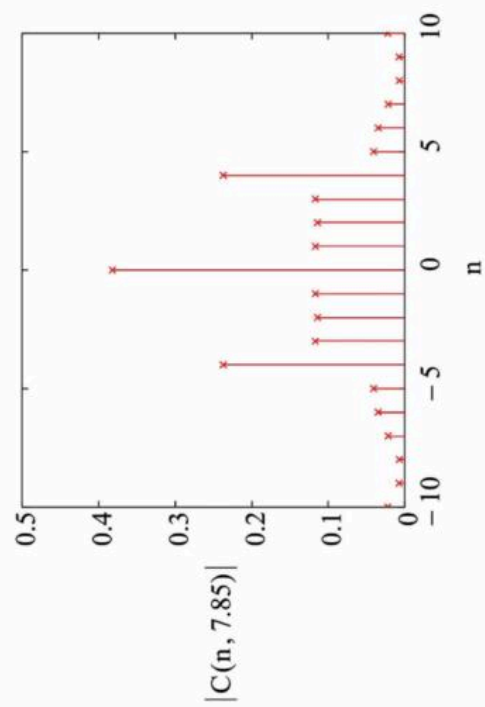


Фиг. 1

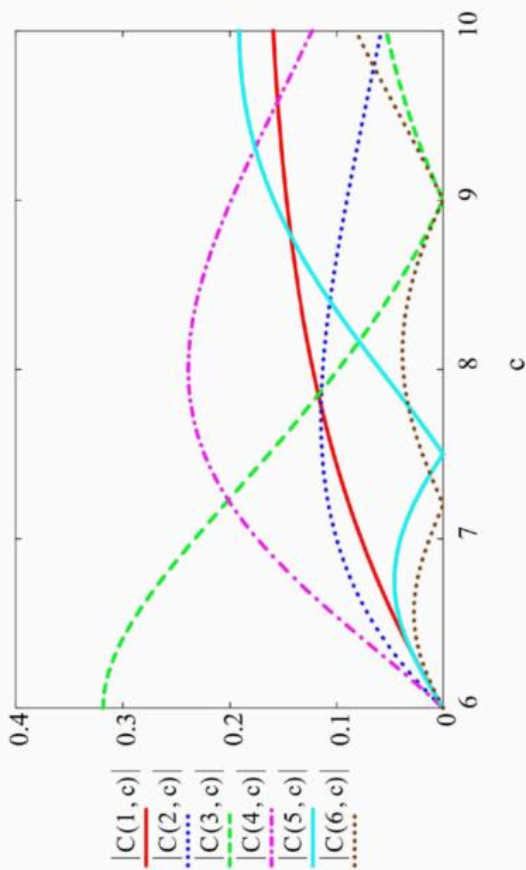




Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4