



(51) МПК
G01H 9/00 (2006.01)
G01D 5/353 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01H 9/006 (2019.05); *G01D 5/353* (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018145195, 19.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 19.12.2018

Дата регистрации:
 19.07.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.12.2018

(45) Опубликовано: 19.07.2019 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
 МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦИС, для Пнёва А.Б.
 (НОЦ "Фотоника")

(72) Автор(ы):

Пнев Алексей Борисович (RU),
 Степанов Константин Викторович (RU),
 Жирнов Андрей Андреевич (RU),
 Нестеров Евгений Таракович (RU),
 Чернуцкий Антон Олегович (RU),
 Лаптев Андрей Сергеевич (RU),
 Шелестов Дмитрий Алексеевич (RU),
 Кошелев Кирилл Игоревич (RU),
 Карасик Валерий Ефимович (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 2550768 С1, 10.05.2015. US
 5194847 A1, 16.03.1993. RU 2516346 С1,
 20.05.2014. RU 2271446 С1, 10.03.2006.

(54) МНОГОКАНАЛЬНОЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ
 ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ С ОДНИМ ПРИЁМНЫМ МОДУЛЕМ РЕГИСТРАЦИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к волоконно-оптическим сенсорным системам. Многоканальное волоконно-оптическое устройство регистрации вибрационных воздействий включает в себя: последовательно соединенные высокостабильный узкополосный источник излучения; усилитель оптического сигнала (бустер); управляемый драйвером акустооптический модулятор для формирования зондирующих импульсов; оптический циркулятор; приемный модуль регистрации, расположенный после оптического циркулятора и состоящий из оптического усилителя слабого обратнорассеянного от измерительных каналов сигнала, узкополосного оптического фильтра,

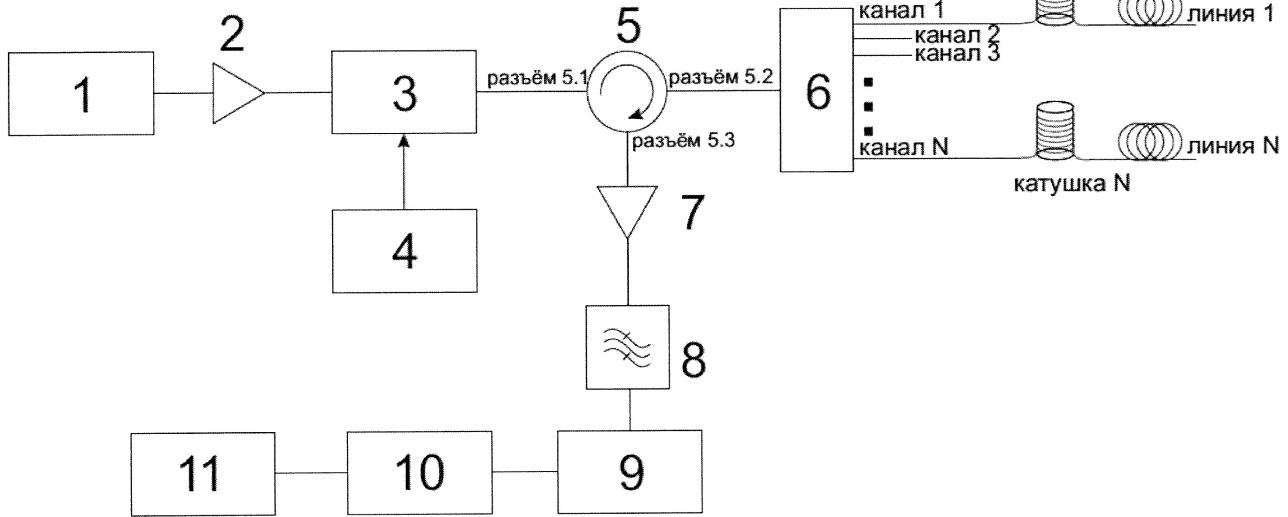
приемника оптического сигнала, на который приходят сигналы со всех N-каналов, аналого-цифрового преобразователя, после которого расположено вычислительное устройство с возможностью конечной обработки зарегистрированных сигналов и отображения информации. Также содержит оптический переключатель 1xN между указанным оптическим циркулятором и опрашиваемыми N-каналами, используемый совместно с определением текущего рабочего канала из опрашиваемых N-каналов за счет привязки к длине i-го канала или к расстоянию до первого разъема после i-й оптической катушки из возможных нескольких оптических катушек разной длины,

RU 2695058 С1

RU 2695058 С1

устанавливаемых в каналы после оптического переключателя 1xN при условии равной длины между двумя и/или несколькими каналами для установления различной оптической длины в каналах. Разность оптической длины каналов должна быть не менее порога разрешения устройства. Технический результат заключается в обеспечении множества измерительных каналов

фазочувствительного рефлектометра при одном приемном канале без сложной цепи синхронизации по времени импульсов, поступающих в измерительные каналы, и импульсов, поступающих на приемник, а также уменьшении количества дорогостоящих компонентов. 5 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
G01H 9/006 (2019.05); *G01D 5/353* (2019.05)

(21)(22) Application: 2018145195, 19.12.2018

(24) Effective date for property rights:
19.12.2018

Registration date:
19.07.2019

Priority:

(22) Date of filing: 19.12.2018

(45) Date of publication: 19.07.2019 Bull. № 20

Mail address:
105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
MGTU im. N.E. Baumana, TSIS, dlya Pneva A.B.
(NOTS "Fotonika")

(72) Inventor(s):

Pnev Aleksej Borisovich (RU),
Stepanov Konstantin Viktorovich (RU),
Zhirnov Andrej Andreevich (RU),
Nesterov Evgenij Tarasovich (RU),
Chernutskij Anton Olegovich (RU),
Laptev Andrej Sergeevich (RU),
Shelestov Dmitrij Alekseevich (RU),
Koshelev Kirill Igorevich (RU),
Karasik Valerij Efimovich (RU)

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj
tekhnicheskij universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyj issledovatelskij universitet)"
(MGTU im. N.E. Baumana) (RU)

(54) MULTICHANNEL FIBER-OPTIC DEVICE FOR RECORDING VIBRATION EFFECTS WITH ONE RECEIVING REGISTRATION MODULE

(57) Abstract:

FIELD: optics.

SUBSTANCE: invention relates to fiber-optic sensor systems. Multichannel fiber-optic device for detecting vibration effects includes: series-connected highly stable narrow-band radiation source; optical signal amplifier (booster); driver-controlled acoustooptic modulator for generating probing pulses; optical circulator; a receiving recording module located after the optical circulator and consisting of an optical amplifier of a weak back-scattered signal from the measurement channels, a narrow-band optical filter, an optical signal receiver, which receives signals from all N-channels, an analogue-to-digital converter, after which a computing device is arranged with possibility of final processing of detected signals and display of information. Also comprises optical switch 1xN between said optical circulator and polled N-channels,

used together with determination of the current working channel of the polled N-channels by binding to the length of the i-th channel or to the distance to the first connector after the i-th optical coil from possible several optical coils of different length, installed in channels after optical switch 1xN under condition of equal length between two and/or several channels for establishment of different optical length in channels. Difference in the optical length of the channels must not be less than the resolution threshold of the device.

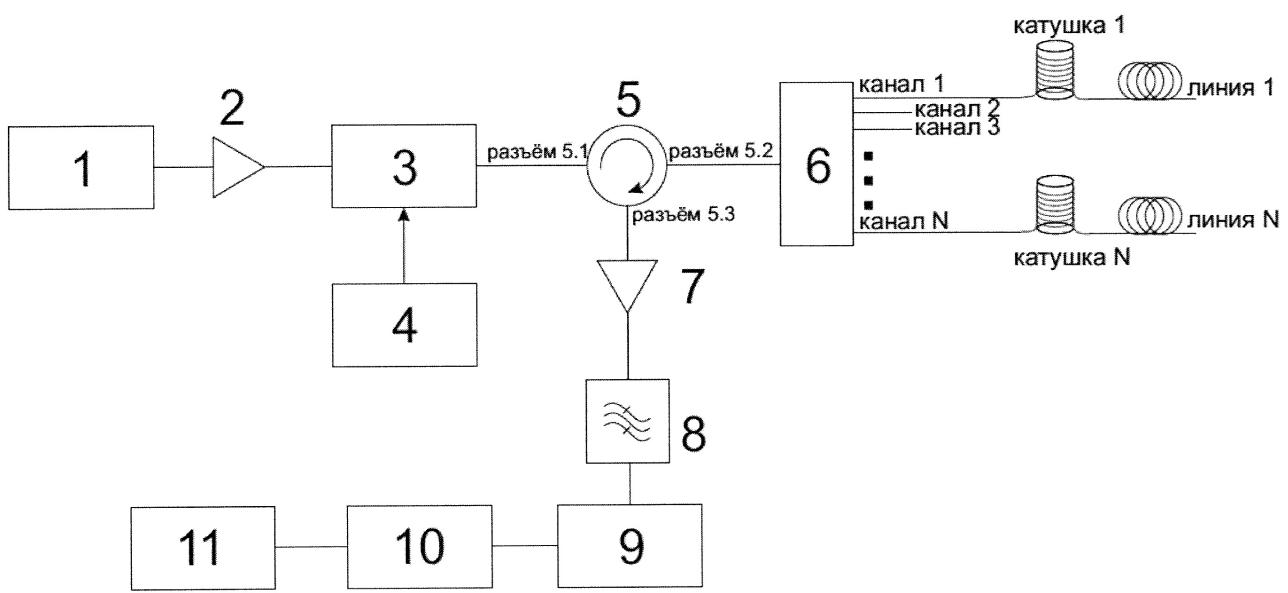
EFFECT: providing a plurality of measuring channels of a phase-sensitive reflectometer with one receiving channel without a complex timing circuit for pulses arriving in measurement channels and pulses arriving at the receiver, as well as reducing the number of expensive components.

1 cl, 5 dwg

RU 2 695 058 C1

RU 2 695 058 C1

R U 2 6 9 5 0 5 8 C 1



Фиг.1

R U 2 6 9 5 0 5 8 C 1

Область техники

Изобретение относится к волоконно-оптическим сенсорным системам на основе фазочувствительной рефлектометрии, используемым в системах мониторинга протяженных разветвленных объектов, и может быть использовано для мониторинга 5 инфраструктурных линий связи, объектов с множеством контролируемых периметров, в системах каротажа нефтяных скважин на основе метода фазочувствительной рефлектометрии.

Уровень техники

Метод фазочувствительной рефлектометрии позволяет детектировать случайный

- 10 по времени сигнал обратного рассеяния (рефлектограмму). Данный обратнорассеянный сигнал не изменяется при условии стабильности частоты и в отсутствии тепловых или механических воздействий на чувствительное оптическое волокно. Электронная обработка регистрируемого сигнала на сегодняшний день преимущественно развита для выделения механических воздействий, диапазон частот которых лежит в пределах
- 15 от 10 Гц до 10 кГц, что хорошо согласуется с диапазоном акустических сигналов различной природы, вызывающих вибрацию сенсорного волокна. Эта вибрация возникает при распространении акустических волн от источника вибрации, например, идущего человека, движущегося состава или работающего оборудования. Каждый тип воздействия генерирует акустическую волну на определенной частоте, генерирующую
- 20 характерные колебания в определенных участках случайного обратнорассеянного сигнала, которые потом могут быть распознаны при помощи математической обработки.

Базовые устройство и метод когерентной рефлектометрии были описаны в патенте США US 5194847 (МПК G01H 9/00; G01L 1/24; G01L 11/02; G08B 13/12; G08B 13/186; 25 (IPC1-7): G08B 13/10; G08B 13/18, опубл. 1993-03-16). Метод когерентной рефлектометрии включают следующие основные операции: - размещение чувствительного волоконно-оптического кабеля вдоль объекта мониторинга; - подача импульсов когерентного оптического излучения определенной длины в линию, - прием сигналов обратного рассеяния и выделение сигнала, показывающего факт внешнего воздействия по 30 возмущениям в указанных сигналах обратного рассеяния.

Базовому методу соответствуют базовые схемы устройств реализации метода, а также множество производных схем устройств когерентной рефлектометрии.

Увеличение каналов в системах фазочувствительной рефлектометрии осуществляется за счет внесения в схему оптических разветвителей или оптических переключателей.

35 При использовании оптических разветвителей, излучение делится между всеми каналами, в один канал идет малая часть от общего излучения (в случае одинакового процента деления излучения оптическим излучением, в каждый измерительный канал с учетом потерь в оптическом разветвителе идет не более U_{max}/N дБ, где U_{max} - входная мощность на оптический разветвитель, N - количество каналов). В данном случае приемник также должен иметь N каналов. При использовании оптических 40 переключателей вносятся только потери самого переключателя, однако излучение поступает в измерительные каналы переменно. В этом случае приемная часть может содержать как один (1) общий для всех каналов приемник, так и N приемников, свой для каждого канала. Однако в случае одного приемника необходимо иметь жесткую 45 привязку по времени опрашиваемого канала и данных, приходящих с него, что приводит к необходимости использования громоздких и сложных схем обратных связей или уменьшению времени дискретизации.

В патенте Китая CN104198030A (опубл. 10.12.2014) представлен аналог предлагаемого

технического решения - схема с использованием оптического разделителя $1 \times N$, N каналов, оптического переключателя $1 \times N$ для сортирования излучения от данных каналов. В данном устройстве разделение каналов осуществляется для достижения более высокой дискретизации за счет определенной последовательности посылки импульсов в каждый измерительный канал.

Основной недостаток данной схемы заключается в том, что множество измерительных каналов физически находятся в одном кабеле и служат для увеличения разрешения сигнала с одного и того же контролируемого участка. Разделение по отдельным волокнам в данном изобретении сделано с целью увеличения дискретизации при невысоких характеристиках компонентной базы устройства АЦП.

В качестве прототипа выбрано устройство по патенту РФ RU 2650853 C1 (МПК G01D 5/00 (2006.01), приоритет изобретения: 17.02.2017, дата государственной регистрации: 17.04.2018). В данном устройстве волоконно-оптический распределенный виброакустический датчик на основе фазочувствительного рефлектометра содержит узкополосной источник излучения, волоконно-оптический усилитель, усиливающий излучение источника, акустооптический модулятор, работающий в импульсном режиме и вносящий частотный сдвиг в оптическое излучение, волоконно-оптический разветвитель на M -каналов в случае $M > 1$, причем каждый канал состоит из оптического волокна, циркулятора и волоконно-оптического эрбийевого усилителя в приемной части канала, усилитель узкополосного оптического фильтра и далее фотоприемный модуль с выходом на канал многоканального АЦП с количеством входов не менее числа задействованных каналов, таким образом, выходы всех каналов подсоединены к своим входам многоканального АЦП. На выходе АЦП последовательно установлены цифровой процессор формирования управляющих импульсов, управления, обработки и передачи данных, плата частотно-импульсного формирователя и драйвер АОМ; все волокна M -каналов проложены вдоль друг друга рядом.

Основным недостатком прототипа является необходимость использования отдельных приемных частей для каждого измерительного канала, а именно: оптического циркулятора, волоконно-оптического эрбийевого усилителя в приемной части канала, усилителя, узкополосного оптического фильтра, фотоприемного модуля, а также многоканального АЦП с количеством входов не менее числа задействованных каналов; и то, что все волокна M -каналов проложены вдоль друг друга рядом. Это приводит к увеличению потерь в каждом измерительном канале, увеличению стоимости конечного изделия, а также невозможности проложить измерительные каналы в разных направлениях, то есть контролируемый участок для каждого из каналов одинаков.

Раскрытие изобретения

Задачей изобретения является обеспечение множества измерительных каналов фазочувствительного рефлектометра при одном приемном канале без сложной цепи синхронизации по времени импульсов, поступающих в измерительные каналы, и импульсов, поступающих на приемник, а также уменьшения количества дорогостоящих компонентов.

Указанная задача решается предлагаемым многоканальным волоконно-оптическим устройством регистрации вибрационных воздействий с одним приемным модулем регистрации, включающим в себя: высокостабильный узкополосный источник излучения; акустооптический модулятор с драйвером к нему для формирования поступающих в измерительные каналы импульсов; волоконно-оптический циркулятор, пропускающий излучение от источника к измерительным каналам, а также обратнорассеянное от измерительных каналов в приемную часть; оптический переключатель $1 \times N$, где N -

максимальное количество опрашиваемых каналов; стоящие в начале i -ой измерительной линии оптические катушки (используются при привязке к длине каждого канала, если длины двух и/или более измерительных каналов попарно одинаковы) или расположенные в начале каждой измерительной линии оптические катушки

5 (используется при привязке к расстоянию до первого разъема после катушки); приемный модуль, состоящий из усилителя слабых сигналов, узкополосного фильтра, приемника сигналов, АЦП; а также вычислительное устройство.

Технический результат достигается за счет того, что волоконно-оптическое устройство регистрации вибрационных воздействий с увеличенным количеством 10 опрашиваемых каналов состоит из высокостабильного узкополосного источника излучения 1, от которого излучение попадает в усилитель оптического сигнала (бустер) 2, после чего модулируется акустооптическим модулятором 3, управляемым драйвером к акустооптическому модулятору 4, таким образом, чтобы последующие импульсы излучения через циркулятор 5 (его разъем 5.2 на фиг. 1) попадали в оптический 15 переключатель $1xN$ 6 и, доходя до конца i -го канала, успевали обратно рассеиваться и возвращаться через переключатель $1xN$ 6, когда он настроен на канал i . Далее слабый обратнорассеянный сигнал от измерительных каналов через циркулятор 5 после разъема 5.3 попадает в приемный модуль и, усиливаясь на оптическом усилителе 7, через узкополосный оптический фильтр 8 попадает на приемник 9, после чего оцифровывается 20 АЦП 10 для последующей передачи в вычислительное устройство 11, где производят конечную обработку зарегистрированных сигналов, определение рабочего канала и отображение информации.

В отличие от прототипа предлагаемое устройство дополнительно содержит оптический переключатель $1xN$ между разъемом 5.2 оптического циркулятора 5 и 25 опрашиваемыми N -каналами, используемый совместно с определением текущего рабочего канала из опрашиваемых N -каналов за счет привязки к длине i -го канала или к расстоянию до первого разъема после i -ой оптической катушки из возможных нескольких оптических катушек разной длины, устанавливаемых в каналы после оптического переключателя $1xN$ при условии равной длины между двумя и/или 30 несколькими каналами для установления различной оптической длины в каналах. При этом разность оптической длины каналов должна быть не менее порога разрешения устройства.

Возможность проведения корректных измерений без сложной синхронизации по времени поступающих в измерительные каналы импульсов и импульсов, поступающих 35 на приемник, осуществляется за счет привязки к условиям: а) длины i -го канала, или б) расстоянию до первого разъема после i -ой катушки.

При осуществлении устройства по условию а): во время работы устройства длина i -го канала остается неизменной, определить, с какого канала приходит сигнал, возможно по привязке к этой длине.

40 При условии равной длины между двумя и/или несколькими каналами, после оптического переключателя $1xN$ предусмотрено установление катушек оптического волокна различной длины для установления различной длины в измерительных каналах. При этом разность оптической длины каналов должна быть не менее разрешения устройства. Если длины каналов различны, то оптические катушки не устанавливают.

45 При осуществлении устройства по условию б): расположенные после оптического переключателя $1xN$ оптические катушки имеют различные длины оптического волокна, и разница длин в катушках подобрана таким образом, чтобы эта длина была не менее разрешения фазочувствительного рефлектометра.

Перечень фигур

На фиг. 1 представлена схема предлагаемого устройства.

На фиг. 2 представлен рабочий регистрируемый сигнал с канала 1 при расположенных в начале линии катушках.

На фиг. 3 представлен рабочий регистрируемый сигнал с канала 2 при расположенных в начале линии катушках.

На фиг. 4 представлен рабочий регистрируемый сигнал с канала 1 при различных длинах линий.

На фиг. 5 представлен рабочий регистрируемый сигнал с канала 2 при различных длинах линий.

Осуществление изобретения

На фиг. 1 представлена схема предлагаемого устройства. Волоконно-оптическое устройство регистрации вибрационных воздействий с увеличенным количеством опрашиваемых каналов содержит: узкополосный источник излучения 1, усилитель

15 оптического сигнала (бустер) 2, акустооптический модулятор 3, драйвер акустооптического модулятора 4, оптический циркулятор 5, оптический переключатель 1xN 6, N катушек оптического волокна, по одной на каждом из измерительных каналов (случай а) или M катушек оптического волокна ($0 \leq M \leq N$), в начале измерительных каналов при условии равенства длин этих каналов (случай б), оптический усилитель 7, 20 узкополосный оптический фильтр 8, приемник излучения 9, АЦП 10, вычислительное устройство 11.

Постоянное излучение от узкополосного источника излучения 1 усиливается усилителем оптического сигнала (бустером) 2. Далее непрерывное усиленное излучение попадает на акустооптический модулятор 3, управляемый драйвером акустооптического 25 модулятора 4, где из непрерывного излучения формируются импульсы длительности t и периода следования T . Длительность импульса t напрямую связана с энергетическими параметрами системы и, как следствие, с максимальной дальностью работы системы, а также с пространственным разрешением ПР системы соотношением:

$$30 \quad \text{IP} = \frac{sc}{2n},$$

35 где c - скорость света; n - эффективный показатель преломления волокна.

Период следования зависит от длины контролируемого участка L и должен соответствовать условию, что последующий импульс не будет сформирован, пока не придет обратнорассеянное излучение с конца линии от предыдущего импульса, таким образом:

$$40 \quad T = \frac{2Ln}{c}.$$

45 Сформированные импульсы оптического сигнала через циркулятор 5 попадают на оптический переключатель 1xN 6, который с заданной последовательностью переключает измерительные каналы системы.

Случай а). На выходе из каждого канала оптического переключателя $1\times N$ 6 стоит катушка оптического волокна. Каждая катушка относится к определенному каналу и имеет определенную длину, отличающуюся от остальных минимум на длину пространственного разрешения системы (или максимально возможного

5 пространственного разрешения системы, если система будет работать в различных режимах). Так, например, если пространственное разрешение системы $PR=\pm 5$ м (длительность импульса $t=100$ нс), то различие в длинах катушек должно быть не менее $\Delta l=10$ м, т.е. катушка 1 имеет длину $l_1=10$ м, катушка 2 длиной $l_2=20$ м, и т.д., катушка 10 N длиной $l_N=l_1+(N-1)\cdot\Delta l$. Каждая катушка подсоединенна к контролируемой линии через оптический патч-корд с для получения точно регистрируемого пика от конца конкретной катушки. Получая значения длины, на которой находится пик от первого разъема после катушки определяется канал, на котором в конкретной момент времени работает система.

15 Случай б). Катушки ставятся только в случае равной длины каналов. Привязка происходит по длине i -го канала.

Благодаря такой схеме, возможно проведение корректных измерений без сложной синхронизации по времени импульсов, поступающих в измерительные каналы, и импульсов, поступающих на приемник.

20 Период переключения оптического переключателя $1\times N$ 6 должен быть не менее времени, требуемого для прохождения импульсом протяженности контролируемого измерительного канала и обратно, и выставлен таком образом, чтобы от каждого канала за один цикл переключения на приемник излучения 9 приходил как минимум один обратнорассеянный сигнал.

25 Период переключения оптического переключателя $1\times N$ 6 может быть выставлен постоянным с возможностью «среза» крайних (первой и/или последней) рефлектоограмм при условии получения как минимум одного несрезанного обратнорассеянного сигнала с каждого канала.

30 После возвращения обратно рассеянный сигнал от каждого из каналов повторно проходит через оптический циркулятор 5 и направляется в приемный модуль, проходя последовательно оптический усилитель 7 и узкополосный оптический фильтр 8, попадает в приемник излучения 9 и сигнал оцифровывается АЦП 10. Далее передается в вычислительное устройство 11.

35 Пример сигнала, регистрируемого приемником в предлагаемом устройстве, представлен на фиг. 2, 3, 4, 5. В качестве примера было выбрано переключение между двумя ($N=2$) каналами. На графиках видны варианты рефлектоограмм, регистрируемых системой:

1) Рабочий регистрируемый сигнал с канала 1 при расположенных в начале линии катушках представлен на фиг. 2;

40 2) Рабочий регистрируемый сигнал с канала 2 при расположенных в начале линии катушках представлен на фиг. 3;

3) Рабочий регистрируемый сигнал с канала 1 при различных длинах линий представлен на фиг. 4;

45 4) Рабочий регистрируемый сигнал с канала 2 при различных длинах линий представлен на фиг. 5;

Рабочий канал определяется по положению пика от разъема катушки или выходного разъема, которое индивидуально и постоянно для каждого канала.

В случае определения по положению пика от разъема катушки первым видимым пиком, расположенным в одном месте на всех каналах, является пик от входного

разъема, после которого для каждого канала индивидуально будет располагаться пик от разъема катушки i -го канала, по расстоянию до которого и происходит определение рабочего канала. Разница длин катушек в этом случае должна быть больше погрешности измерения расстояния системы. Расстояние до пика от разъема катушки i -го канала определяет рабочий

⁵ канал.

В случае определения канала по его длине (или по выходному разъему) привязка осуществляется по обратноотраженному пику в конце i -го канала. В этом случае разница протяженностей каналов должна быть больше погрешности измерения расстояния системы. Расстояние до пика от выходного разъема i -го канала определяет рабочий

¹⁰ канал.

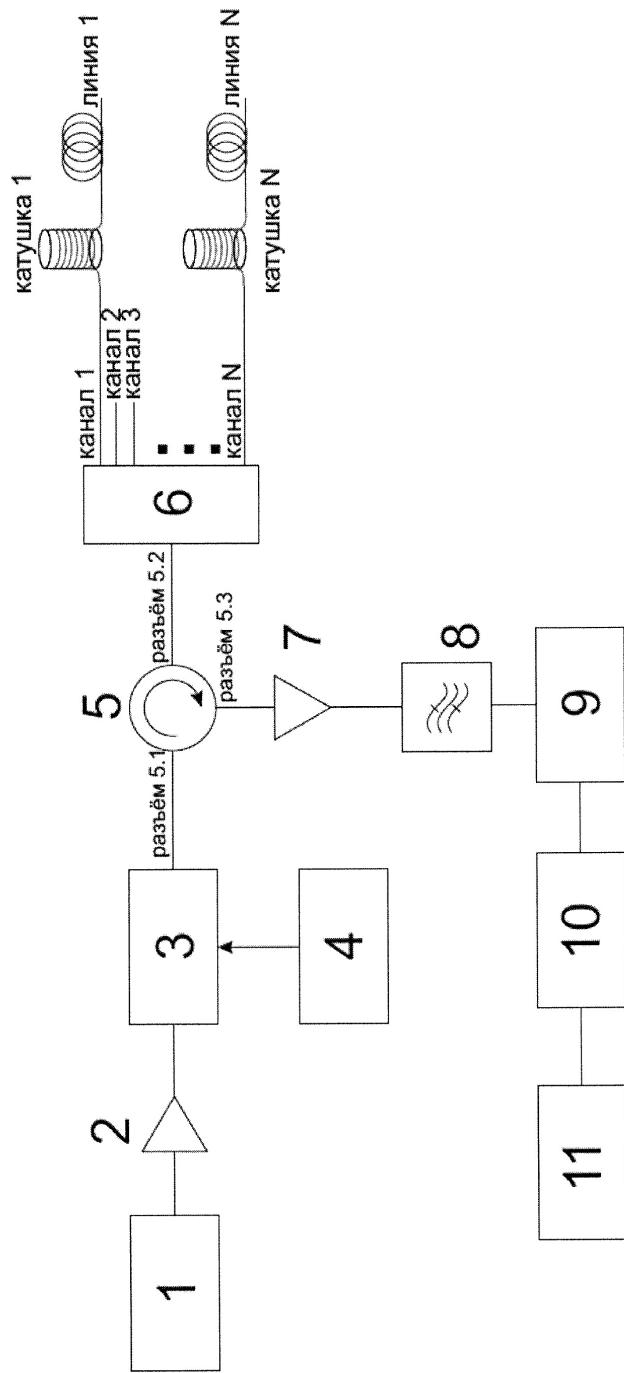
(57) Формула изобретения

Многоканальное волоконно-оптическое устройство регистрации вибрационных воздействий, включающее в себя: последовательно соединенные высокостабильный ¹⁵ узкополосный источник излучения 1; усилитель оптического сигнала (бустер) 2; управляемый драйвером 4 акустооптический модулятор 3 для формирования зондирующих импульсов; оптический циркулятор 5; приемный модуль регистрации, расположенный после оптического циркулятора и состоящий из оптического усилителя 7 слабого обратнорассеянного от измерительных каналов сигнала; узкополосного ²⁰ оптического фильтра 8; приемника оптического сигнала 9, на который приходят сигналы со всех N -каналов; аналого-цифрового преобразователя 10; после которого расположено вычислительное устройство 11 с возможностью конечной обработки зарегистрированных сигналов и отображения информации, отличающееся тем, что дополнительно содержит оптический переключатель $1 \times N$ между указанным оптическим ²⁵ циркулятором 5 и опрашиваемыми N -каналами, используемый совместно с определением текущего рабочего канала из опрашиваемых N -каналов за счет привязки к длине i -го канала или к расстоянию до первого разъема после i -й оптической катушки из возможных нескольких оптических катушек разной длины, устанавливаемых в каналы ³⁰ после оптического переключателя $1 \times N$ при условии равной длины между двумя и/или несколькими каналами для установления различной оптической длины в каналах, при этом разность оптической длины каналов должна быть не менее порога разрешения устройства.

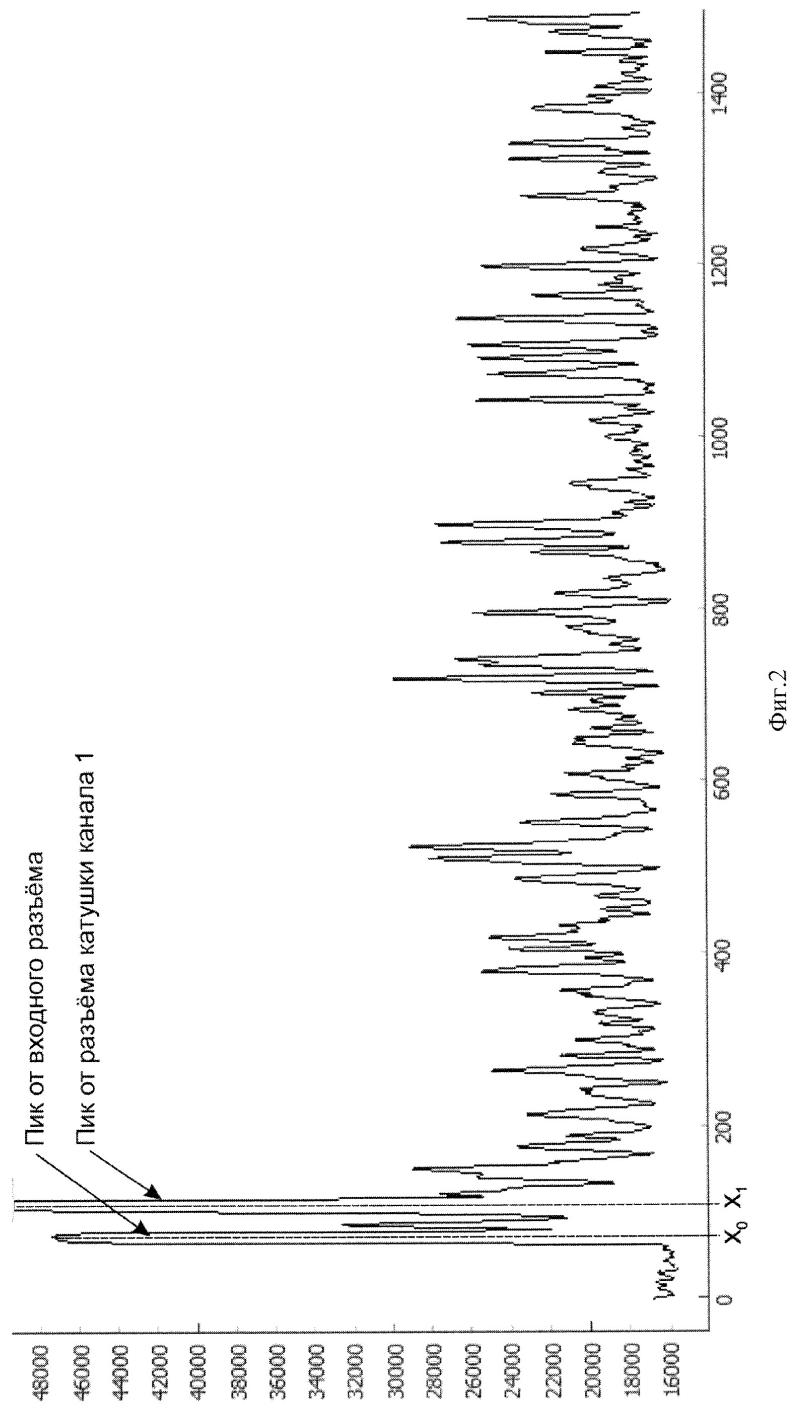
35

40

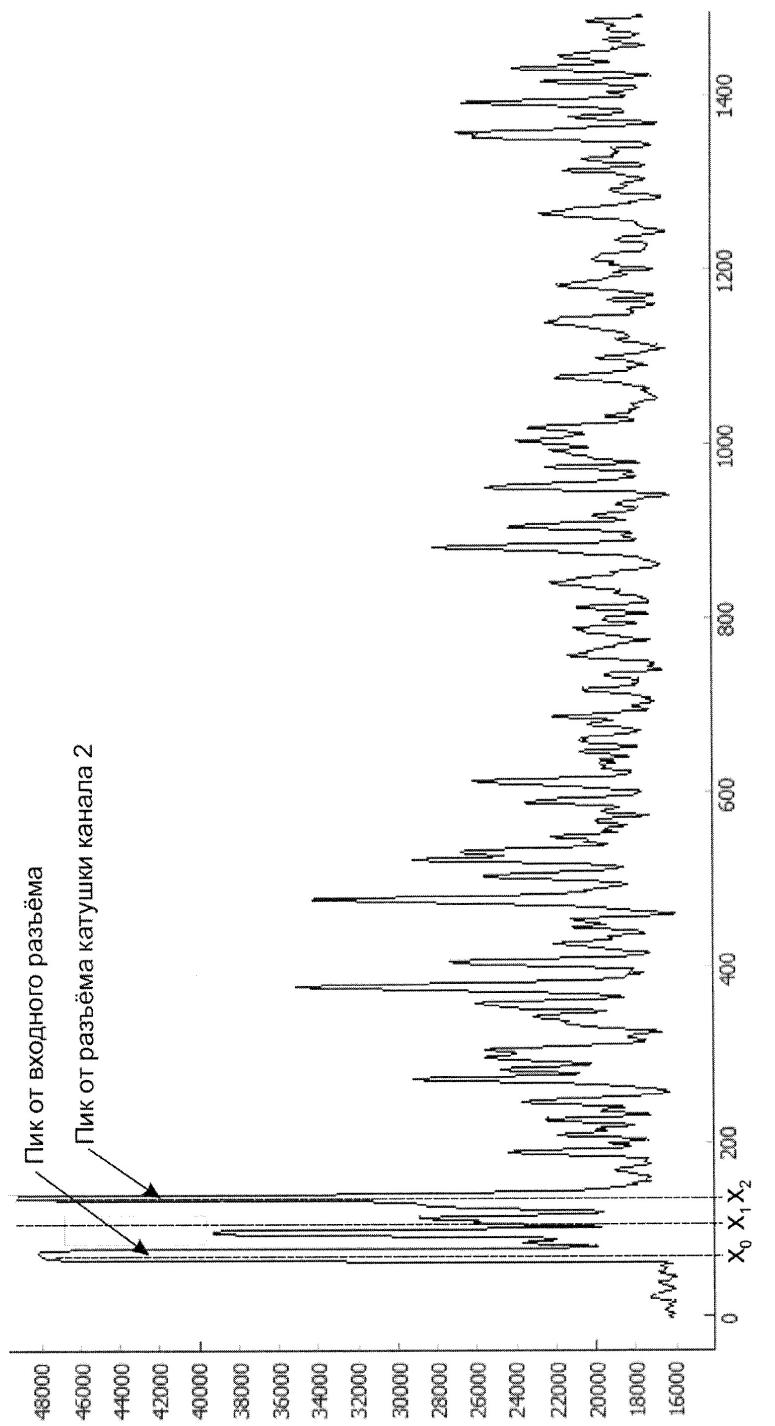
45



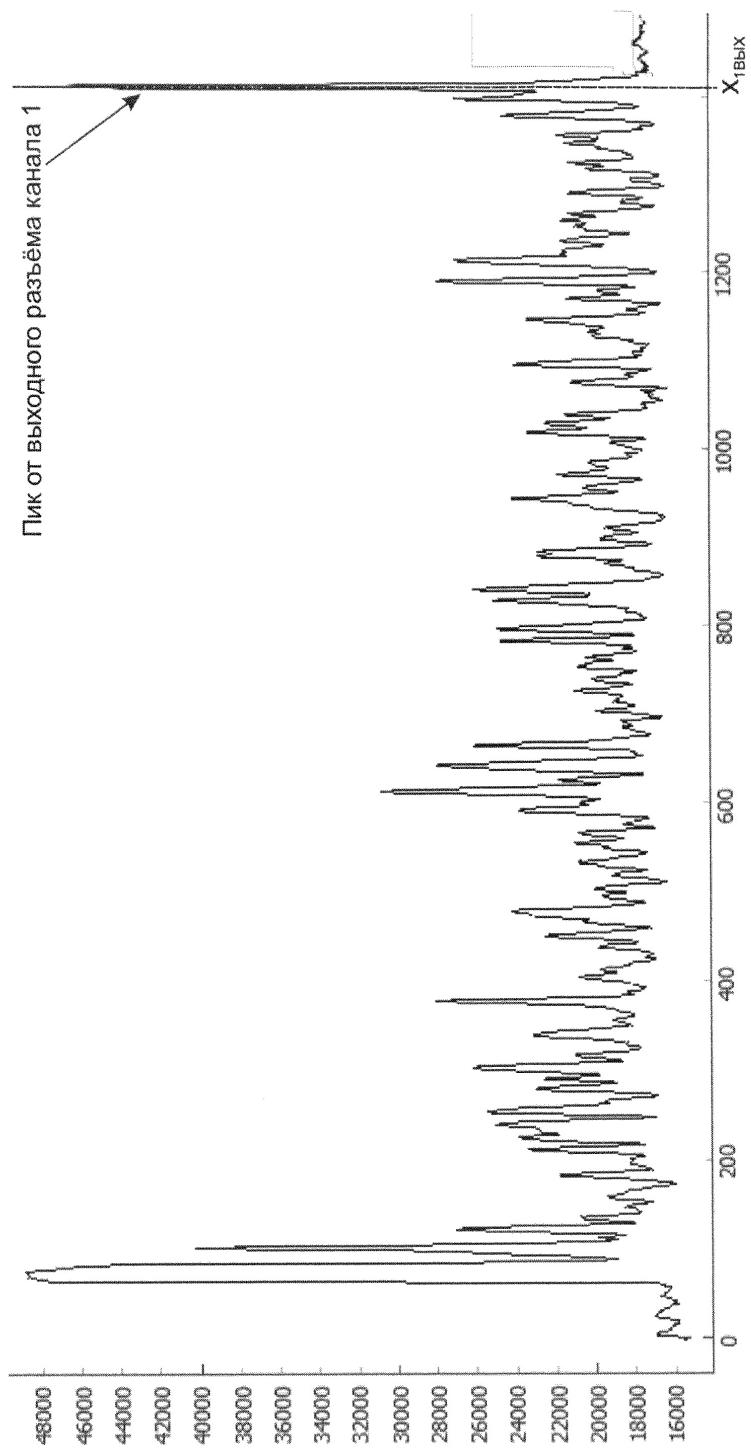
Фиг.1



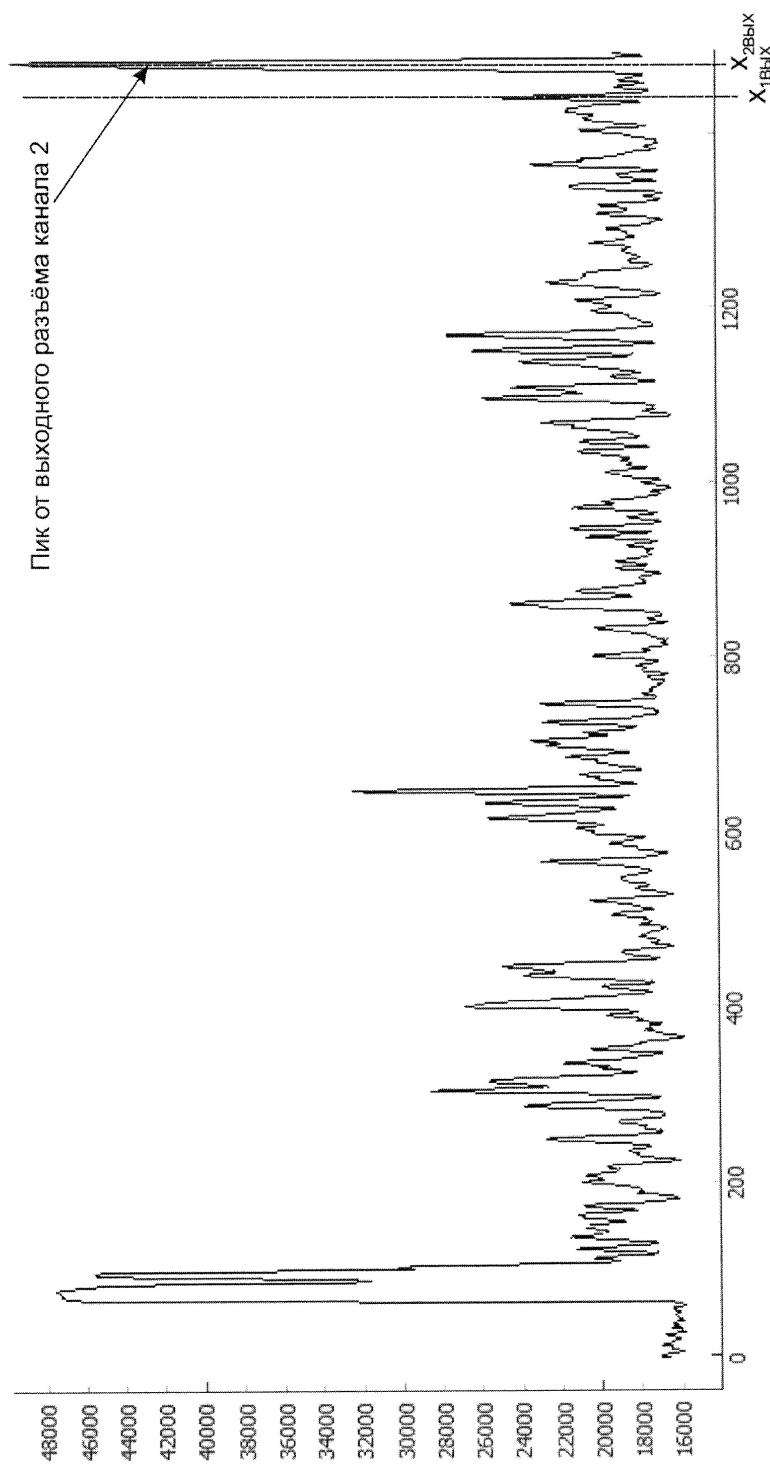
Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5