



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01H 9/00 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018145196, 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 Тарасович (RU),  
Чернуцкий Антон Олегович (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: Pnev A. B. MATHEMATICAL  
ANALYSIS OF MARINE PIPELINE LEAKAGE  
MONITORING SYSTEM BASED ON  
COHERENT OTDR WITH IMPROVED  
SENSOR LENGTH AND SAMPLING  
FREQUENCY //Journal of Physics: Conference  
Series 584 (2015) 012016. EP 2342533 B1,  
07.09.2016. WO 2017096421 A1, 15.06.2017. CN  
107421570 A, 01.12.2017. RU 2589492 C1,  
10.07.2016.

(54) ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ ВИБРАЦИОННЫХ  
ВОЗДЕЙСТВИЙ С РАЗДЕЛЕНИЕМ КОНТРОЛИРУЕМЫХ УЧАСТКОВ

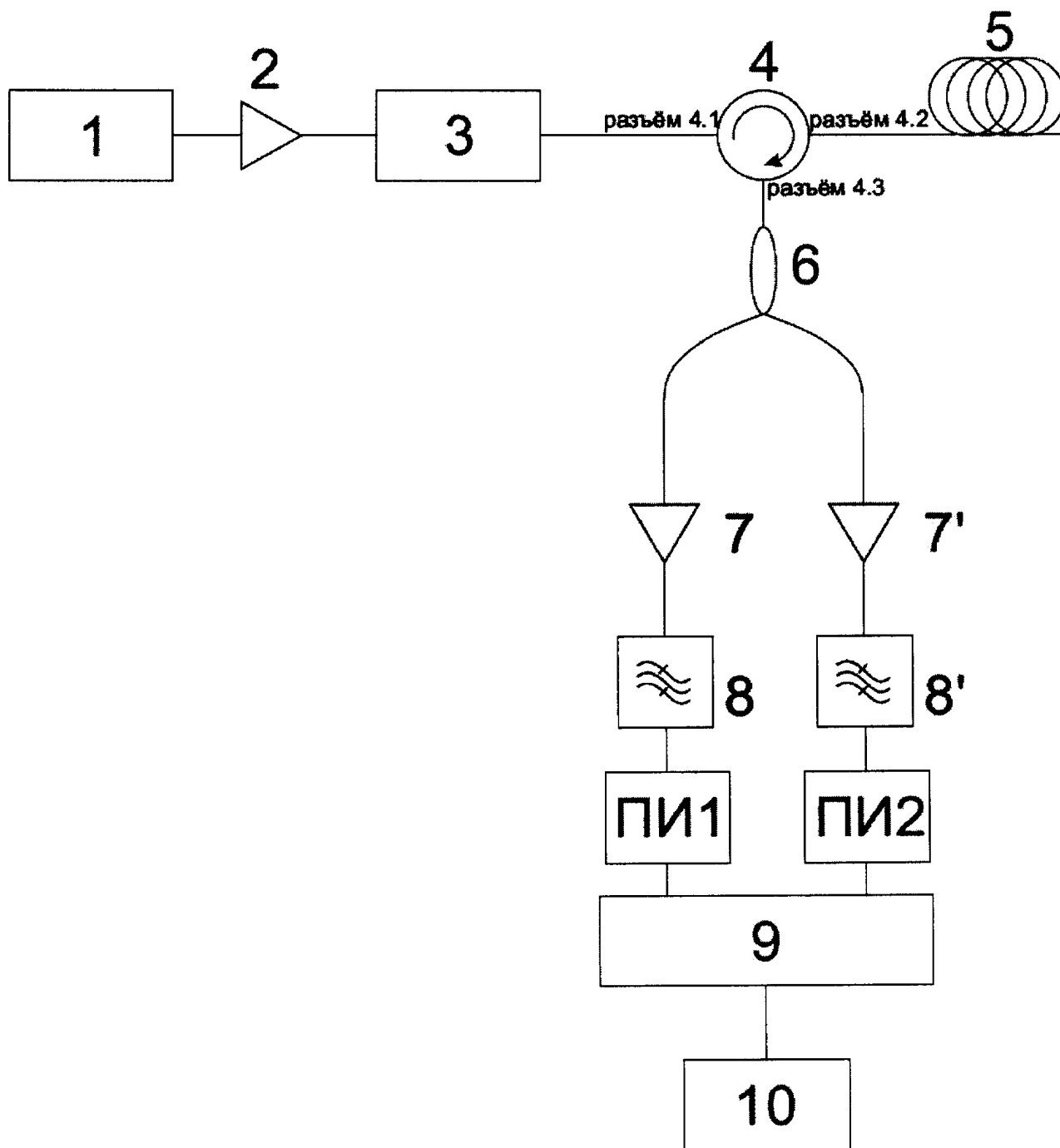
(57) Реферат:

Изобретение относится к метрологии, в частности к рефлектометрии. Волоконно-оптическое устройство регистрации вибрационных воздействий содержит последовательно соединенные высокостабильный узкополосный источник излучения, усилитель оптического сигнала, управляемый драйвером акустооптический модулятор, циркулятор, контролируемую линию оптического волокна,

разветвитель 1×2 обратно рассеянного сигнала. На выходах разветвителя установлены приемные части с одинаковыми составами из последовательно установленных усилителей слабого сигнала, оптических фильтров и приемников излучения; при этом первая приемная часть предназначена для контроля ближнего опрашиваемого участка контролируемой линии, вторая - для контроля дальнего опрашиваемого

участка контролируемой линии; с возможностью настройки уровней сигналов в приемных частях для каждого контролируемого участка таким образом, чтобы вся контролируемая линия имела достаточное для качественной регистрации и контроля отношение сигнал/шум; выходы

приемников подключены к аналого-цифровому преобразователю вычислительного устройства. Технический результат - повышение отношения сигнал/шум, увеличение динамического диапазона полезного сигнала. 3 ил.



Фиг.1

RU 2695098 C1

RU 2695098 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01H 9/00 (2018.08)*

(21)(22) Application: **2018145196, 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),  
Shelestov Dmitrij Alekseevich (RU),  
Koshelev Kirill Igorevich (RU),  
Karasik Valerij Efimovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj  
tehnicheskij universitet imeni N.E. Baumana  
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)"  
(MGTU im. N.E. Baumana) (RU)**

(54) **FIBER-OPTIC DEVICE FOR RECORDING VIBRATION EFFECTS WITH SEPARATION OF CONTROLLED SECTIONS**

(57) Abstract:

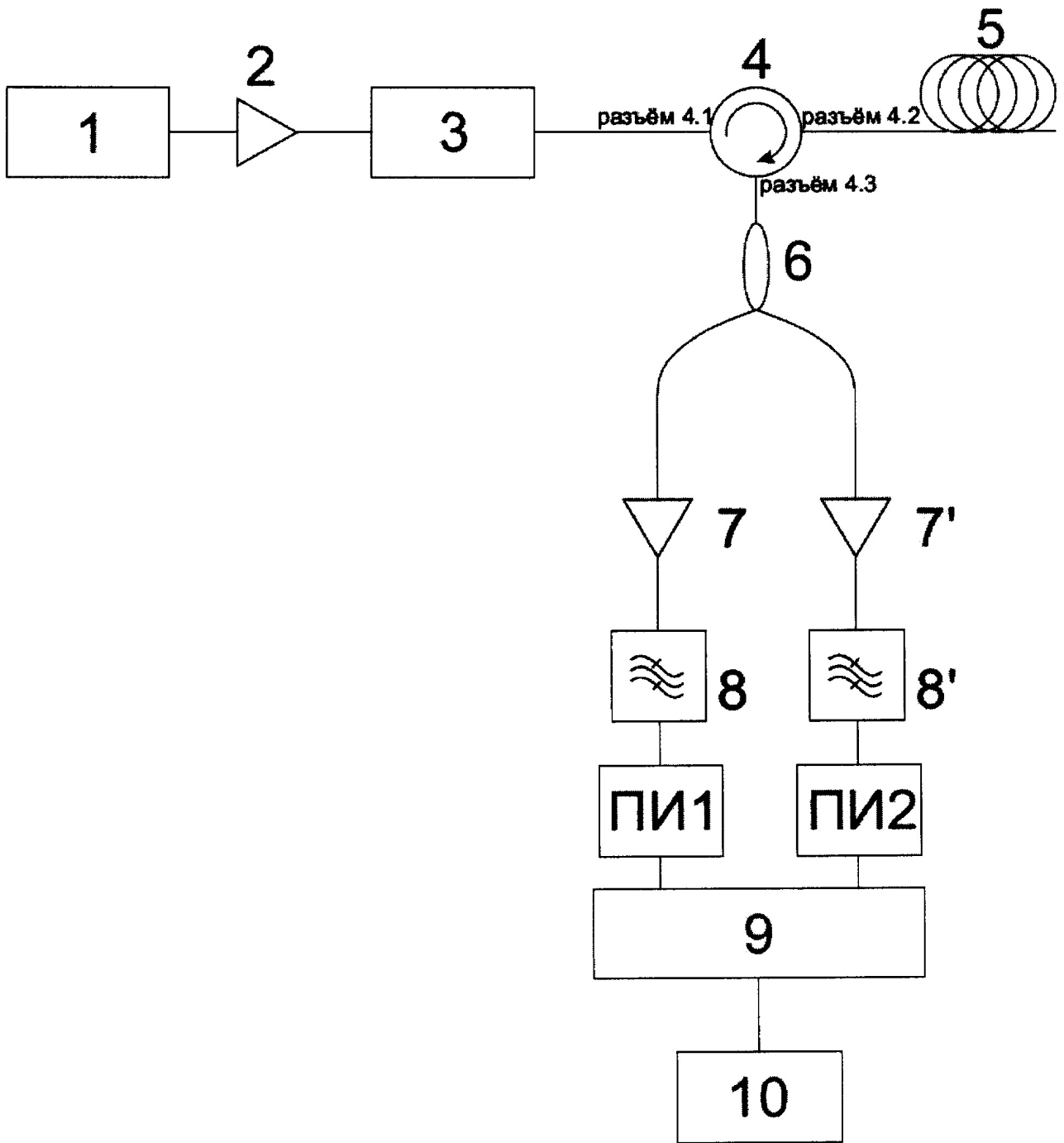
FIELD: metrology.

SUBSTANCE: invention relates to metrology, in particular to reflectometry. Fiber-optic device for detecting vibration effects comprises a series-connected high-stable narrow-band radiation source, an optical signal amplifier, driver-controlled acoustooptic modulator, circulator, controlled optical fiber line, splitter 1 × 2 back scattered signal. Outputs of splitter are equipped with receiving parts with identical compositions from in-series installed weak signal amplifiers, optical filters and radiation receivers; wherein the first receiving part is intended for control

of the near-polled section of the monitored line, the second - for monitoring the distant interrogated section of the monitored line; with possibility to adjust signal levels in receiving parts for each monitored section so that all monitored line has signal/noise ratio sufficient for quality registration and control; outputs of receivers are connected to analogue-to-digital converter of computing device.

EFFECT: technical result is an increase in the signal/noise ratio, high dynamic range of the useful signal.

1 cl, 3 dwg



Фиг.1

RU 2695098 C1

RU 2695098 C1

### Область техники

Изобретение относится к волоконно-оптическим сенсорным системам на основе фазочувствительной рефлектометрии, используемым в системах мониторинга протяженных объектов, и может быть использовано для мониторинга состояния и целостности, а также определения наличия предметов или действий, вдоль контролируемой линии, в том числе трубопроводов, периметров, в системах каротажа нефтяных скважин на основе метода фазочувствительной рефлектометрии.

### Уровень техники

Метод фазочувствительной рефлектометрии позволяет регистрировать случайно распределенный по длине сенсора сигнал рассеяния (рефлектограмму), который остается неизменным во времени при условии стабильности частоты источника излучения и отсутствии воздействия на чувствительное оптическое волокно, а при наличии тепловых или механических воздействий изменяется. Обработка получаемого сигнала на данный момент преимущественно развита для выделения механических воздействий на волокно в диапазоне 10 Гц ... 20 кГц, что хорошо согласуется с диапазоном акустических сигналов различной природы, вызывающих вибрацию сенсорного волокна. Эта вибрация возникает при распространении акустических волн в среде от источника вибрации (идуший человек, работающий двигатель, движение транспортного средства) до уложенного сенсорного кабеля. Акустические волны вызывают вибрацию кабеля на своей частоте, что выделяется на фоне случайного сигнала при последующей обработке.

Базовое устройство и метод фазочувствительной рефлектометрии были описаны в патенте США US 5194847 (МПК G01H 9/00; G01L 1/24; G01L 11/02; G08B 13/12; G08B 13/186; (PC1-7); G08B 13/10; G08B 13/18, опубл. 1993-03-16). Метод подготовки и использования когерентной рефлектометрии включают следующие основные стадии: - размещение чувствительного оптического кабеля-датчика вдоль контролируемого объекта; - подача в расположенную вдоль протяженного объекта линию определенной длины импульсов когерентного оптического излучения, - прием сигналов обратного рассеяния и выделение сигнала, выявляющего факт внешнего воздействия по возмущениям в указанных сигналах обратного рассеяния.

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

При прохождении в оптическом волокне когерентного излучения, его часть вследствие наличия большого количества случайно расположенных неоднородностей с характерным диаметром порядка доли длины волны рассеивается обратно. Этот обратно рассеянный сигнал в схеме рефлектометра хаотичен по длине волокна и постоянен при отсутствии внешних воздействий.

Известно устройство по патенту РФ RU2589492 Волоконно-оптическое устройство большой протяженности с источником малой мощности для регистрации вибрационных воздействий (МПК G01H 9/00 (2006.01) Опубликовано: 10.07.2016), выбранное в качестве ближайшего аналога (прототипа). В данном устройстве повышение динамического диапазона полезного сигнала измерений вибраций акустического частотного диапазона и соответствующее увеличение длины сенсорного участка вдоль инспектируемого объекта достигается за счет узкополосного подстраиваемого фильтра Фабри-Перо и нескольких опорных приемников излучения, отдельно регистрирующих исходное зондирующее излучение от источника и обратно рассеянное с кабеля-датчика излучение, а также последующее сопоставление мощности данных сигналов.

Недостатком устройства прототипа является наличие большого количества приемников излучения и перестраиваемого фильтра, требующего также сложную схему

подстройки частоты пропускания.

#### Раскрытие изобретения

Задачей изобретения является повышение отношения сигнал/шум на приемнике излучения и, как следствие, увеличения динамического диапазона полезного сигнала измерений вибраций, что также приводит и к возможности соответствующего увеличения 5 длины кабеля-датчика вдоль контролируемого объекта.

Технический результат достигается за счет того, что волоконно-оптическое устройство регистрации вибрационных воздействий с разделением контролируемых 10 участков включает в себя высокостабильный узкополосный источник излучения 1, от которого излучение попадает в усилитель оптического сигнала (бустер) 2, после чего модулируется управляемым драйвером акустооптическим модулятором 3, далее через оптический циркулятор 4 полученные импульсы следуют в контролируемую линию оптического волокна 5, где происходит рассеяние излучение на неоднородностях 15 волокна во всех направлениях, в том числе и обратно в сторону оптического циркулятора 4. Обратно рассеянное излучение, прошедшее через оптический циркулятор 4, поступает на разветвитель 6 и делится таким образом, чтобы меньшая часть излучения через усилитель слабого сигнала 7 и последующий фильтр 8, попадая на приемник ПИ1 для ближнего участка контролируемой линии, и большая часть излучения через 20 усилитель слабого сигнала 7' и последующий фильтр 8', попадая на приемник ПИ2 для дальнего участка контролируемой линии имели бы одинаковые отношения сигнал/шум. После оцифровки в аналого-цифровом преобразователе 9 полученные значения выводятся и обрабатываются на вычислительном устройстве 10.

Таким образом, волоконно-оптическое устройство регистрации вибрационных 25 воздействий с разделением контролируемых участков включает в себя: последовательно соединенные высокостабильный узкополосный источник излучения 1; усилитель оптического сигнала (бустер) 2; управляемый драйвером акустооптический модулятор 3; циркулятор 4; контролируемую линию оптического волокна 5. При этом отличается наличием после разъема 4.3 оптического циркулятора, разветвителя 1×2 обратно 30 рассеянного сигнала 6 для раздельной регистрации вибрационных воздействий с ближнего и дальнего участков контролируемой линии. На обоих выходах разветвителя установлены приемные части с одинаковыми составами из последовательно установленных усилителей слабого сигнала (7 и 7'), оптических фильтров (6 и 6') и 35 приемников излучения (ПИ1 и ПИ2). При этом первая приемная часть предназначена для контроля ближнего опрашиваемого участка контролируемой линии, вторая - для контроля дальнего опрашиваемого участка контролируемой линии. В обеих приемных частях предусмотрена настройка уровней сигналов для каждого контролируемого участка таким образом, чтобы вся контролируемая линия имела достаточное для 40 качественной регистрации и контроля отношение сигнал/шум. Выходы приемников (ПИ1 и ПИ2) подключены к аналого-цифровому преобразователю 9 вычислительного устройства 10.

#### Перечень чертежей

На фиг. 1 представлена схема предлагаемого устройства.

На фиг. 2 представлен вид сигнала для первого приемника ближнего контролируемого участка.

На фиг. 3 представлен вид сигнала для второго приемника дальнего контролируемого участка.

#### Осуществление изобретения

На фиг. 1 представлена схема предлагаемого устройства. Устройство содержит

высокостабильный узкополосный источник излучения 1; усилитель оптического сигнала (бустер) 2; акустооптический модулятор с драйвером 3; оптический циркулятор 4; контролируемую линию оптического волокна 5; разветвитель оптического излучения 6 с неравномерным коэффициентом деления; усилители слабого сигнала 7 и 7'; фильтры 8 и 8'; приемники оптического излучения ПИ1 и ПИ2; аналого-цифровой преобразователь 9; вычислительное устройство 10.

Непрерывное излучение от высокостабильного узкополосного источника излучения 1 усиливается, проходя усилитель оптического сигнала (бустер) 2. После усиленное непрерывное излучение попадает в управляемый драйвером акустооптический модулятор 3, где происходит преобразование непрерывного излучения в импульсы определенной длительности и скважности, определяемые из требований к точности и протяженности контролируемой линии 5. Проходя оптический циркулятор 4, пропускающий излучение от лазера в контролируемую линию и от контролируемой линии в приемную часть, импульсное зондирующее излучение попадает в контролируемую линию оптического волокна 5, где происходит рассеяние излучение на неоднородностях волокна во всех направлениях, в том числе и обратно в сторону оптического циркулятора 4. Проходя оптический циркулятор 4, обратно рассеянное излучение попадает в оптический разветвитель 6, имеющий неравномерный коэффициент деления. Вывод оптического разветвителя с меньшим коэффициентом пропускания подключен последовательно к первому приемному каналу, состоящему из усилителя слабого сигнала 7, оптического фильтра 8 и приемника излучения ПИ1. Вывод оптического разветвителя с большим коэффициентом пропускания подключен последовательно ко второму приемному каналу, состоящему из усилителя слабого сигнала 7', оптического фильтра 8' и приемника излучения ПИ2. Приемники оптического излучения первого и второго каналов подключены к аналого-цифровому преобразователю 9, где происходит их оцифровка с последующей передачей в вычислительное устройство 10.

Коэффициенты усиления усилителей слабого оптического сигнала 7 и 7' подобраны таким образом, что меньшая часть излучения через усилитель слабого сигнала 7 и последующий фильтр 8, попадая на приемник ПИ1 для ближнего опрашиваемого участка контролируемой линии, и большая часть излучения через усилитель слабого сигнала 7' и последующий фильтр 8', попадая на приемник ПИ2 для дальнего опрашиваемого участка контролируемой линии, имели бы одинаковые динамические диапазоны после оцифровки. На фиг. 2 представлен вид сигнала для первого приемника ближнего контролируемого участка. Из-за стандартного затухания сигнала в волокне, отношение сигнал/шум постепенно уменьшается, что приводит к ухудшению качества распознавания событий. На фиг. 3 представлен вид сигнала для второго приемника дальнего контролируемого участка. На нем на ближнем участке контроля приходящий на приемник сигнал доводит его до насыщения, что приводит к нечувствительности на этом участке, но к увеличению чувствительности на дальнем контролируемом участке.

В результате предложенное техническое решение решает задачу повышения отношения сигнал/шум на приемнике излучения и, как следствие, динамического диапазона полезного сигнала измерений вибраций, что также приводит и к возможности соответствующего увеличения длины кабеля-датчика вдоль контролируемого объекта.

45 Определить численное значение увеличения отношения сигнал/шум можно в соответствии со следующими расчетами. Пиковая мощность вводимого в линию импульса составляет  $P_{вх}$ . Доля мощности прямой волны, рассеянной назад в основную

моду волокна с участка длиной, равной полуширине импульса света в волокне:

$$Q = S \cdot \alpha \cdot v \cdot \frac{\tau}{2}, \quad \text{где } S=1,2 \cdot 10^{-3} \text{ - коэффициент захвата}$$

рассеянного излучения модой волокна,  $\alpha_{\text{дБ}} = 0,2 \frac{\text{дБ}}{\text{км}}$ , или

$$\alpha = \ln \left( 10^{\frac{0,2 \frac{\text{дБ}}{\text{км}}}{10}} \right) = 0,046 \text{ км}^{-1}$$

коэффициент потерь (более 95% потерь в волокне идет именно на рэлеевское рассеяние) на длине волны 1550 нм,  $v=c/n$  - скорость света в волокне,  $\tau$ , нс - длительность импульса. Из-за затухания в сенсоре длины  $L$  с коэффициентом  $\alpha$  излучение эта доля перед попаданием в предусилитель уменьшится на  $K_{\text{осл}}=2 \cdot \alpha \cdot L$  дБ. В предусилителях эта мощность увеличится на величины  $G_1$  и  $G_2$ . Итого максимальный уровень оптического сигнала в первом канале составит  $P_{\text{вых}}=P_{\text{вх}}-K_{\text{осл}}+Q+G_1$ . При использовании АЦП с  $N$  разрядами минимальный регистрируемый сигнал при этом будет определяться уровнем сигнала одного разряда и равен

$$P_{\text{min1}} = P_{\text{вых}} + 10 \lg \left( \frac{1}{2^{N-4}} \right) \quad \text{Это}$$

определит работу системы с отношением сигнал шум более 10 дБ, которое дают 4 разряда АЦП ( $10 \lg(2^4)=12$  дБ). Расстояние, на котором это будет получено, можно найти исходя из расстояния, на котором такое затухание будет получено:

$$2 \cdot \alpha \cdot L = -10 \lg \left( \frac{1}{2^N} \right), \quad L = -5 \lg \left( \frac{1}{2^N} \right) / \alpha$$

При этом из-за шума внутренних компонент системы (изменение температуры сенсора, колебания длины волны источника и т.д.), а также внешних шумов, не являющихся сигналами, реальное отношение сигнал/шум будет ниже.

Таким образом, определено, что длина сенсора, с которой может быть зарегистрирован сигнал, ограничена разрядностью АЦП. Однако за счет возможности применения предусилителей с разными коэффициентами  $G_1$  и  $G_2$ , с помощью которых можно смотреть на разные контролируемые участки сенсора, можно увеличить



отношение сигнал/шум системы на величину  $K_{yB} = \alpha \cdot L$  дБ, где

$$L = -5 \lg \left( \frac{1}{2^N} \right) / \alpha. \text{ Это будет достигнуто при}$$

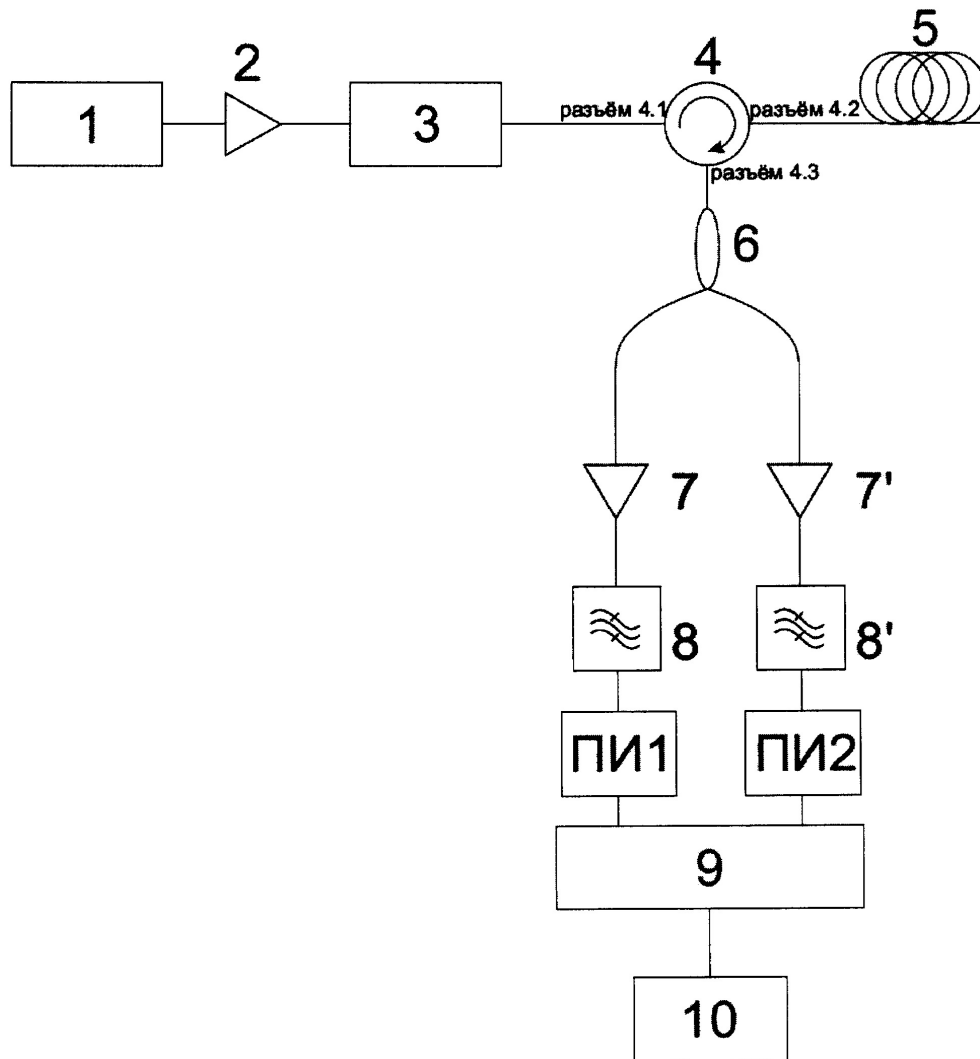
достижении уровня  $P_{\text{вых}}$  сигнала на нулевом километре первого канала и того же уровня

$$P_{\text{вых}} \text{ на } \frac{L}{2} \text{ км второго канала.}$$

### (57) Формула изобретения

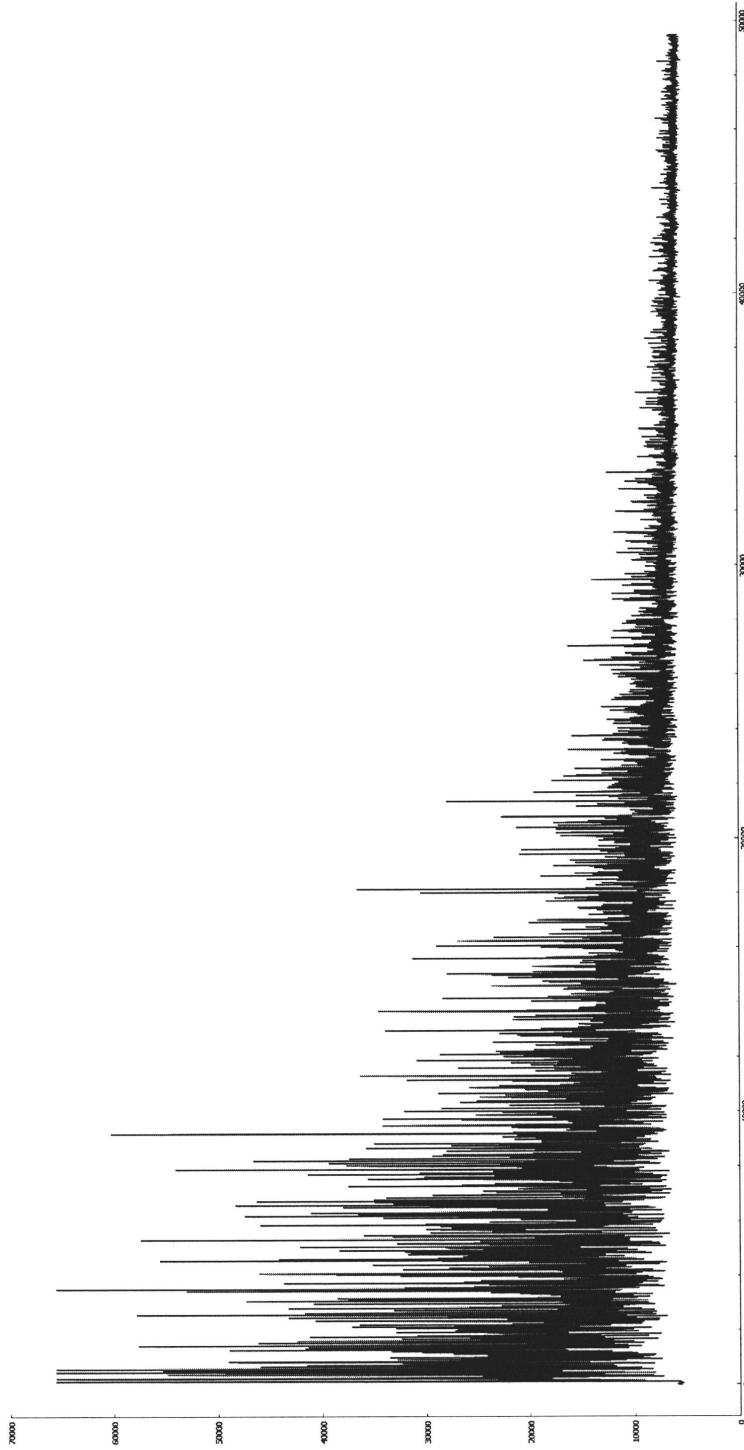
Волоконно-оптическое устройство регистрации вибрационных воздействий с разделением контролируемых участков, включающее в себя: последовательно соединенные высокостабильный узкополосный источник излучения 1; усилитель оптического сигнала (бустер) 2; управляемый драйвером акустооптический модулятор 3; циркулятор 4; контролируемую линию оптического волокна 5, отличающуюся наличием после разъема 4.3 оптического циркулятора, разветвителя 1×2 обратно рассеянного сигнала 6 для раздельной регистрации вибрационных воздействий с ближнего и дальнего участков контролируемой линии; на выходах разветвителя установлены приемные части с одинаковыми составами из последовательно установленных усилителей слабого сигнала (7 и 7'), оптических фильтров (8 и 8') и приемников излучения (ПИ1 и ПИ2); при этом первая приемная часть предназначена для контроля ближнего опрашиваемого участка контролируемой линии, вторая - для контроля дальнего опрашиваемого участка контролируемой линии; с возможностью настройки уровней сигналов в приемных частях для каждого контролируемого участка таким образом, чтобы вся контролируемая линия имела достаточное для качественной регистрации и контроля отношение сигнал/шум; выходы приемников (ПИ1 и ПИ2) подключены к аналого-цифровому преобразователю 9 вычислительного устройства 10.

1



Фиг.1

2



Фиг.2

