

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **038447**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2021.08.30**

(21) Номер заявки  
**201900433**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.09.06**

(51) Int. Cl. **E21B 47/07** (2012.01)  
**E21B 47/135** (2012.01)  
**G01K 11/32** (2006.01)  
**G01D 5/353** (2006.01)

---

**(54) СКВАЖИННЫЙ ОПТОВОЛОКОННЫЙ ДАТЧИК НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ**


---

(43) **2021.03.31**

(96) **2019000097 (RU) 2019.09.06**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ  
ОБЩЕСТВО  
"БЕЛАРУСЬКАЛИЙ" (ВУ);  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ "ПЕРМСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК" (RU)**

(72) Изобретатель:

**Головатый Иван Иванович, Барбиков  
Дмитрий Владимирович (ВУ), Зайцев  
Артем Вячеславович, Левин Лев  
Юрьевич, Паршаков Олег Сергеевич,  
Пугин Алексей Витальевич, Семин  
Михаил Александрович, Дьяконов  
Алексей Сергеевич (RU)**

(74) Представитель:  
**Онорин А.А. (RU)**

(56) **RU-C2-2473874  
WO-A1-2014109816  
GB-A-2368921  
US-B2-10113371  
US-A1-20180223647  
WO-A1-2009099332**

(57) Изобретение относится к оптоволоконным технологиям, а именно к термометрическому методу изучения массива горных пород, и может быть использовано для получения детальной информации о температурах горных пород с помощью оптоволоконного датчика непрерывно в режиме реального времени в скважинах или шпурах любой направленности (вертикальных, горизонтальных, наклонных). Конструкция скважинного оптоволоконного датчика непрерывного измерения температуры предусматривает корпус цилиндрической формы в виде трубы (1) с размещенным в нем оптоволоконным кабелем (2). Датчик снабжен несущим элементом в виде трубки (3) с навитым с шагом 3-10 см по винтовой линии на него без изоляции и армирования оптоволоконным кабелем (2), не содержащим брэгговские решетки. Корпус (1) плотно соприкасается с кабелем (2) и с одного торца имеет герметичную заглушку (4), а с другого - герметичную крышку (5) с закрепленным с ее внутренней стороны несущим элементом (6), а с наружной стороны - элементами крепления (7) и извлечения (8) датчика с устья термометрической скважины или шпура (9). Корпус (1) и несущий элемент (3) оптоволоконного кабеля выполнены из нержавеющей стали. Полость (10) между внутренней стенкой корпуса и несущим элементом с оптоволоконным кабелем может быть заполнена теплопроводящей жидкостью или гелем. Выход (11) оптоволоконного кабеля (2) через отверстие (12) крышки (5) подключен к магистральному оптоволоконному кабелю (13), который связан с интеррогатором (14), а тот, в свою очередь, посредством TCP/IP соединения (15) связан с сервером (16) на рабочем месте оператора. Технический результат - непрерывное во времени в режиме онлайн измерение температуры с шагом 3-10 см вдоль ствола неглубокой скважины или шпура в зависимости от его диаметра с погрешностью, не превышающей величину, установленную нормативными документами.

**B1****038447****038447****B1**

### Область техники

Изобретение относится к оптоволоконным технологиям, а именно к термометрическому методу изучения массива горных пород, и может быть использовано для получения детальной информации о температурах горных пород с помощью оптоволоконного датчика непрерывно в режиме реального времени в скважинах или шпурах любой направленности (вертикальных, горизонтальных, наклонных).

### Уровень техники

Измерения температуры в скважинах (синонимы - термометрия, метод термометрии, термометрический метод) являются основным методом изучения поля температур (синоним - тепловое поле) в массиве горных пород. Метод термометрии используется для изучения как естественного теплового поля от природных источников теплоты, так и искусственного теплового поля, сгенерированного техногенными источниками теплоты, в том числе целенаправленно под контролем человека для решения инженерных задач.

Например, термометрический метод поставляет надежную информацию о температурном состоянии массива пород, подвергнутого искусственному замораживанию для создания временной защитной крепи (ледопородного ограждения) при проходке горных выработок через водоносные проницаемые слои горных пород. Обязательное применение данного метода регламентируется рядом нормативных документов. Для измерений температуры горных пород производится бурение и оборудование специальных термометрических (при мониторинге - контрольно-термических) скважин или шпуров. Шпур - скважина малого диаметра (до 75 мм) и малой глубины (до 5 м).

Известен способ измерения температур (далее - способ 1) в термометрических скважинах или шпурах путем погружения в них скважинного термометра в процессе его движения по стволу скважины от устья к забою и обратно [5]. Оборудование для этого способа представляет собой скважинный зонд, в качестве чувствительного элемента которого по отношению к температуре выступает электрический датчик сопротивления. Также могут использоваться ртутные заливочные термометры, гирлянды заливочных термометров или электрических термометров сопротивления [2, 3, 4]. Недостатком данного способа является необходимость периодического погружения термометра в скважину, что 1) является трудоемкой процедурой и требует обязательного присутствия специалиста, осуществляющего эту процедуру, 2) не обеспечивает непрерывного во времени измерения по всей глубине скважины при необходимости длительных мониторинговых наблюдений.

Известен способ измерения температур (далее - способ 2) с постоянным размещением локальных термометрических датчиков на нескольких заданных глубинах в термометрической скважине или шпуре. В этом способе в качестве локальных датчиков используется гирлянда электрических термометров сопротивления [2], которая подключается к измерительному устройству при помощи кабеля и передает информацию о температурах в точке установки каждого термометра непрерывно в режиме реального времени. Описанный способ имеет недостаток в том, что температуры измеряются в нескольких отдельных точках вдоль ствола скважины или шпура, расстояние между которыми достаточно большое. При высоких требованиях к детальности исследований, когда необходимо соблюсти малое расстояние между точками измерений вплоть до нескольких сантиметров, такую детальность сложно, а чаще всего невозможно обеспечить датчиками данного способа.

Известен способ измерения температур (далее - способ 3) с постоянным размещением в термометрических скважинах оптоволоконного кабеля, который сам по себе является распределенным датчиком температуры [6, 7]. Оптоволоконный кабель подключается к специальному устройству - интеррогатору. Лазерное устройство интеррогатора через короткие интервалы времени (1-2 с) выпускает в оптическое волокно луч света, принимает отраженный сигнал и обрабатывает его при помощи специальных алгоритмов преобразования. Физически данный способ связан с изменением оптических свойств оптоволоконна при изменении температуры его различных участков. При прохождении пучка света через оптическое волокно возникает комбинационное рамановское рассеяние, интенсивность антистоксовой полосы которого зависит от температуры, а стоксовой - практически нет. Обработывая отраженный сигнал, интеррогатор вычисляет значения температур на каждом участке оптического волокна, анализируя отношение интенсивности антистоксовой и стоксовой компоненты отраженного света [8]. Погрешность измерения температур при помощи высококачественного оптического волокна и интеррогатора не превышает погрешности, регламентируемой действующим документом [2].

Современное оборудование для распределенных измерений температуры, например, такое как Silixa Ultima DTS, при использовании стандартного оптоволоконного кабеля высокого качества способно обеспечить измерение температур с погрешностью менее  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  и шагом менее 30 см вдоль оптоволоконного кабеля (вдоль ствола скважины или шпура) [6, 7]. Такой детальности недостаточно, если необходимо обеспечить измерение температур с шагом менее 30 см в неглубоких скважинах или шпурах. В таком случае можно использовать специально подготовленное оптическое волокно, оборудованное брегговскими решетками - разновидность дифракционной решетки, которая формируется с заданным шагом непосредственно внутри оптоволоконна при помощи технологии лазерной "нарезки" и отражает свет в узком диапазоне частот.

Известен способ изготовления датчиков путем крепления оптического волокна, оборудованного

брегговскими решетками, на корпусе в виде металлической трубы, которая может иметь разное поперечное сечение. Данный способ описан в патенте РФ № 2473874 [9].

Описание конструкции датчика в данном изобретении было принято в качестве прототипа. Недостатком прототипа являются сложность изготовления и существенное удорожание оптоволоконного кабеля с брегговскими решетками в сравнении с обычным оптоволоконным кабелем, а следовательно, удорожание стоимости работ. Невозможно обеспечить измерение температур с шагом менее 30 см в неглубоких скважинах или шпурах.

### **Сущность изобретения**

Задачей изобретения является устранение недостатка прототипа - создание возможности производить измерения температуры вдоль ствола скважины или шпура, используя стандартный оптоволоконный кабель без оборудования его брегговскими решетками, не превышая при этом установленную стандартами погрешность измерений температуры.

Задача решается при помощи нового типа скважинного оптоволоконного датчика, следующие существенные признаки (конструктивные элементы) которого изложены в формуле изобретения:

признаков, общих с прототипом, указанных в п.1 формулы изобретения, таких как скважинный оптоволоконный датчик непрерывного измерения температуры, содержащий корпус цилиндрической формы в виде трубы с размещенным в нем оптоволоконным кабелем, и отличительных существенных признаков, таких как то, что датчик снабжен несущим элементом в виде трубки с навитым шагом 3-10 см по винтовой линии на него без изоляции и армирования оптоволоконным кабелем, не содержащим брегговские решетки, при этом корпус плотно соприкасается с кабелем и с одного торца имеет герметичную заглушку, а с другого - герметичную крышку с закрепленным с ее внутренней стороны несущим элементом, а с наружной стороны - элементами крепления и извлечения датчика с устья термометрической скважины или шпура;

согласно п.2 формулы изобретения корпус и несущий элемент оптоволоконного кабеля выполнены из нержавеющей стали;

согласно п.3 формулы изобретения полость между внутренней стенкой корпуса и несущим элементом с оптоволоконным кабелем заполнена теплопроводящей жидкостью или гелем;

согласно п.4 формулы изобретения выход оптоволоконного кабеля через отверстие крышки подключен к магистральному оптоволоконному кабелю, который связан с интеррогатором, а тот, в свою очередь, посредством TCP/IP соединения связан с сервером на рабочем месте оператора.

Вышеперечисленная совокупность существенных признаков позволяет получить следующий технический результат - непрерывное во времени в режиме онлайн измерение температуры с шагом 3-10 см вдоль ствола неглубокой скважины или шпура в зависимости от его диаметра с погрешностью, не превышающей величину, установленную нормативными документами.

### **Перечень фигур чертежей**

Изобретение иллюстрируется прилагаемыми чертежами, на которых показано:

на фиг. 1 - общий вид датчика;

на фиг. 2 - разрез по А-А фиг. 1;

на фиг. 3 - чувствительный элемент кабеля в виде спирали;

на фиг. 4 - вид датчика со стороны крышки;

на фиг. 5 - схема эксплуатации датчика.

### **Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения**

Скважинный оптоволоконный датчик непрерывного измерения температуры состоит из следующих конструктивных элементов, показанных на фиг. 1-4: корпус цилиндрической формы в виде трубы (1) с размещенным в нем оптоволоконным кабелем (2), а также несущим элементом в виде трубки (3) с навитым по винтовой линии на него без изоляции и армирования оптоволоконным кабелем (2).

Корпус (1) плотно соприкасается с кабелем (2) и с одного торца имеет герметичную заглушку (4), а с другого - герметичную крышку (5) с закрепленным с ее внутренней стороны несущим элементом (6), а с наружной стороны - элементами крепления (7) и извлечения (8) датчика с устья термометрической скважины или шпура (9). Корпус (1) и несущий элемент (3) оптоволоконного кабеля выполнены из нержавеющей стали. Полость (10) между внутренней стенкой корпуса и несущим элементом с оптоволоконным кабелем может быть заполнена теплопроводящей жидкостью или гелем. Выход (11) оптоволоконного кабеля (2) через отверстие (12) крышки (5) подключен к магистральному оптоволоконному кабелю (13), который связан с интеррогатором (14), а тот в свою очередь посредством TCP/IP соединения (15) связан с сервером (16) на рабочем месте оператора.

Датчик работает следующим образом.

Датчик помещается скважину или шпур и закрепляется при помощи крышки (5) и креплений (7) на устье скважины (фиг. 5), после чего подключается к магистральному кабелю (13), который в свою очередь подключается к интеррогатору (14), а тот в свою очередь посредством TCP/IP соединения (15) подключен к серверу (16), как показано на фиг. 5. Интеррогатор подает световой пучок в датчик через магистральный кабель, считывает и обрабатывает отраженный сигнал и передает измеренные значения температур на сервер с оборудованным рабочим местом оператора, где специальное программное обеспече-

ние позволяет сохранять результаты в базу данных, визуализировать их в графическом виде и экспортировать в табличный формат файлов для постобработки и интерпретации.

Отличительной особенностью датчика является возможность проведения измерений без заполнения термометрической скважины теплопроводящей жидкостью за счет тесного контакта корпуса 1 датчика со стенками скважины.

Ниже приводится описание примера успешной апробации изобретения, когда установленные в крепи шахтных стволов оптоволоконные датчики позволяли непрерывно в течение длительного времени в онлайн режиме контролировать процессы искусственного замораживания и размораживания крепи и горных пород в закрепленном пространстве и оперативно ориентировать ведение горных работ, в частности по консолидации массива и тампонажу.

Скважинный оптоволоконный датчик непрерывного измерения температуры впервые был испытан для контроля температурного состояния крепи и замороженной горной породы за ней (защитного ледопородного ограждения) при строительстве вертикальных шахтных стволов Петриковского ГОК ОАО "Беларуськалий" на территории Республики Беларусь. В каждом шахтном стволе датчики располагались в коротких (2 м глубины) термометрических шпурах, пробуренных через передовую бетонную крепь и через технологические отверстия в тубингах на 7 отметках глубин. Показания датчиков неоднократно подвергались верификации путем сравнения с данными электрического термометра сопротивления, погружаемого в шпур (способ 2). Разница температур, измеренных погружным термометром и предложенным оптоволоконным датчиком, не превышала  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

Данное описание рассматривается как материал, иллюстрирующий изобретение, сущность которого и объем патентных притязаний определены в нижеследующей формуле изобретения совокупностью существенных признаков и их эквивалентами.

Источники информации

1. Геофизические методы исследования скважин. Справочник геофизика/ Под ред. В.М. Запорожца. - М.: Недра, 1983. - 591 с.

2. ГОСТ 25358-2012 Грунты. Метод полевого определения температуры, введен в действие 01.07.2013 г. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.10.2012 в качестве национального стандарта Российской Федерации. -12 с. .

3. ГОСТ 112-78 Термометры метеорологические стеклянные. Технические условия (с Изменениями №1, 2, 3), утв. и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 24.05.1978 г. №1382. - 14 с.

4. ГОСТ 28498-90 Термометры жидкостные стеклянные, утв. и введен в действие 01.01.1991 г. Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 30.03.1990 г. - 10 с.

5. РСН 75-90 Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Каротажные методы, утв. постановлением Государственного комитета РСФСР по делам строительства от 21.07.1990 г. №52. -76 с.

6. Левин Л.Ю., Семин М.А., Паршаков О.С. Совершенствование методов прогнозирования состояния ледопородного ограждения строящихся шахтных стволов с использованием распределенных измерений температуры в контрольных скважинах./ Записки Горного института. Т. 237.2019. - С. 268-274.

7. Carlos H. Maldaner, Jonathan D. Munn, Thomas I. Coleman, John W. Molson, Beth L. Parker Ground-water flow quantification in fractured rock boreholes using active distributed temperature sensing under natural gradient conditions. / Water Resources Research. Vol. 55. Issue 4. 2019. pp. 3285-3306.

8. Hartog A.H., 2017. An introduction to distributed optical fibre sensors. CRC Press. - 442p.

9. Распределенные оптические датчики давления и температуры. Описание изобретения к патенту РФ №2473874, МПК G01L 11/02, опубл.27.01.2013 г.- прототип.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

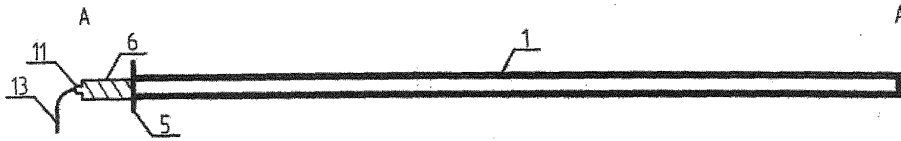
1. Скважинный оптоволоконный датчик непрерывного измерения температуры содержащий корпус цилиндрической формы в виде трубы (1) с размещенным в нем оптоволоконным кабелем (2), отличающийся тем, что он снабжен несущим элементом в виде трубки (3) с навитым шагом 3-10 см по винтовой линии на него без изоляции и армирования оптоволоконным кабелем (2), не содержащим брэгговские решетки, при этом корпус (1) плотно соприкасается с кабелем (2) и с одного торца имеет герметичную заглушку (4), а с другого - герметичную крышку (5) с закрепленным с ее внутренней стороны несущим элементом (6), а с наружной стороны - элементами крепления (7) и извлечения (8) датчика с устья термометрической скважины или шпура (9).

2. Датчик по п.1, отличающийся тем, что корпус (1) и несущий элемент (3) оптоволоконного кабеля выполнены из нержавеющей стали.

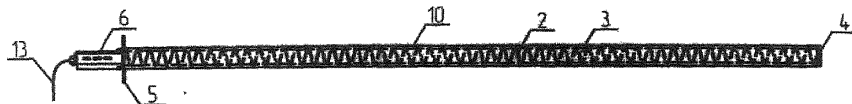
3. Датчик по п.1, отличающийся тем, что полость (10) между внутренней стенкой корпуса и несущим элементом с оптоволоконным кабелем заполнена теплопроводящей жидкостью или гелем.

4. Датчик по п.1, отличающийся тем, что выход (11) оптоволоконного кабеля (2) через отверстие

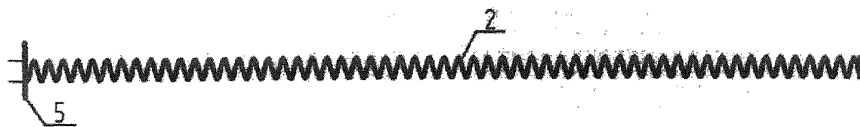
(12) крышки (5) подключен к магистральному оптоволоконному кабелю (13), который связан с интеррогатором (14), а тот, в свою очередь, посредством ТСР/ІР соединения (15) связан с сервером (16) на рабочем месте оператора.



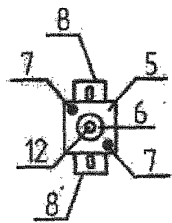
Фиг. 1



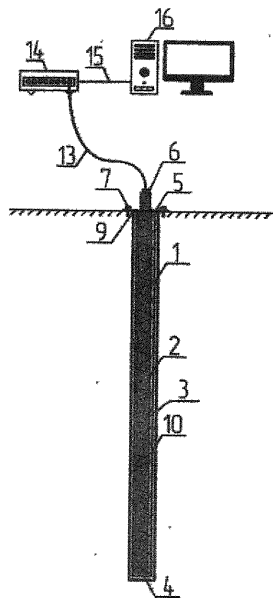
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

