



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01N 21/85 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2020138663, 25.11.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.11.2020

Дата регистрации:  
29.09.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.11.2020

(45) Опубликовано: 29.09.2021 Бюл. № 28

Адрес для переписки:  
195251, Санкт-Петербург, ул. 29, Центр  
интеллектуальной собственности и трансфера  
технологий ФГАОУ ВО "СПбПУ"

(72) Автор(ы):

Гребенникова Надежда Михайловна (RU),  
Давыдов Вадим Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский  
политехнический университет Петра  
Великого" (ФГАОУ ВО "СПбПУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 157015 U1, 20.11.2015. RU 2084873  
C1, 20.07.1997. SU 693180 A1, 25.10.1979. US  
2018011027 A1, 11.01.2018. EP 2609415 A1,  
03.07.2013.

(54) Способ исследования оптической плотности текущей жидкости

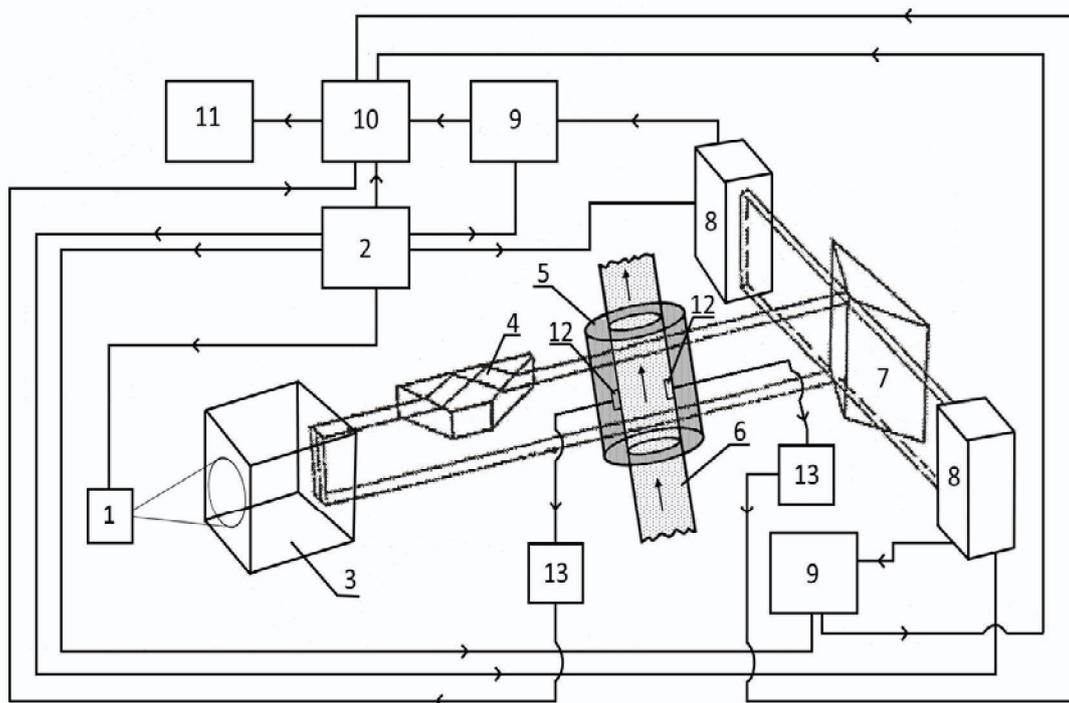
(57) Реферат:

Использование: для исследования оптической плотности текущей жидкости. Сущность изобретения заключается в том, что определяют формативный параметр  $\beta$  по разности нормированных выходных сигналов с фотодиодных линеек, которые соответствуют максимумам интенсивности рассеянного лазерного излучения, прошедшего через замкнутую кювету с эталонной жидкостью, обладающей известным показателем преломления  $n_e$ , и проточную кювету с исследуемой жидкостью, показатель преломления которой  $n_f$  необходимо контролировать, устанавливают влияние изменения оптической плотности на погрешность измерения показателя преломления текущей среды  $n_f$ , при этом проточная кювета находится внутри замкнутой кюветы, обе кюветы имеют цилиндрическую форму, обеспечивающую максимальное соприкосновение стенок, что обеспечивает максимальный теплообмен для выравнивания температур, которые

контролируются датчиками температуры, размещенными внутри кювет, подключенными к устройствам обработки, информация от этих устройств поступает в устройство обработки и управления, для окончательной обработки данных применяется ноутбук, в котором размещены градуировочные таблицы показателя преломления эталонной жидкости от температуры, замкнутая и проточная кюветы размещены в вертикальном положении, лазерное излучение поступает на боковую грань кюветы под прямым углом, перед замкнутой кюветой устанавливается призма Дове, которая у половины лазерного пучка, вышедшего из коллиматора, изменяет направление, после прохождения замкнутой и проточной кюветы рассеянное лазерное излучение поступает на делительную призму, использование которой обеспечивает разделение световых потоков, в результате чего одна часть светового потока уменьшает амплитуду сигнала первой фотодиодной линейки и увеличивает освещенность второй, другая часть светового

потока увеличивает амплитуду сигнала первой фотодиодной линейки и уменьшает - второй фотодиодной линейки, измеряя после обработки сигналов их значения по полученным данным, используя определенное соотношение,

определяют значение изменения оптической плотности текущей жидкости. Технический результат: повышение точности определения изменения оптической плотности текущей жидкости. 5 ил.



Фиг.5

RU 2756373 C1

RU 2756373 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01N 21/85 (2021.08)*

(21)(22) Application: **2020138663, 25.11.2020**

(24) Effective date for property rights:  
**25.11.2020**

Registration date:  
**29.09.2021**

Priority:

(22) Date of filing: **25.11.2020**

(45) Date of publication: **29.09.2021** Bull. № 28

Mail address:

**195251, Sankt-Peterburg, ul. 29, Tsentr  
intellektualnoj sobstvennosti i transfera  
tehnologij FGAOU VO "SPbPU"**

(72) Inventor(s):

**Grebennikova Nadezhda Mikhajlovna (RU),  
Davydov Vadim Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij  
politehnicheskij universitet Petra Velikogo"  
(FGAOU VO "SPbPU") (RU)**

(54) **METHOD FOR STUDYING OPTICAL DENSITY OF FLOWING LIQUID**

(57) Abstract:

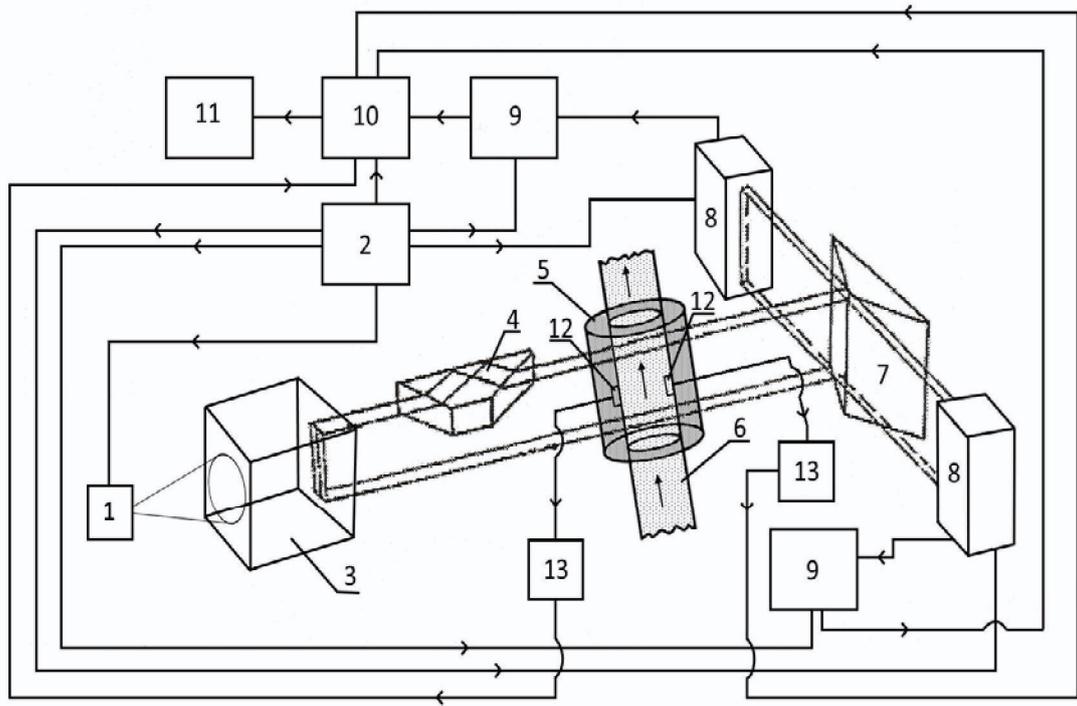
FIELD: spectrophotometric analysis.

SUBSTANCE: invention can be used to study the optical density of the flowing liquid. The essence of the invention consists in determining the formative parameter  $\beta$  by the difference of the normalized output signals from photodiode lines, which correspond to the intensity maxima of scattered laser radiation passed through a closed cuvette with a reference liquid having a known refractive index  $n_c$ , and a flow cuvette with the liquid under study, the refractive index of which  $n_f$  must be controlled, the effect of changes in optical density on the error of measuring the refractive index of the current medium  $n_f$  is established, in this case, the flow cuvette is located inside a closed cuvette, both cuvettes have a cylindrical shape that ensures maximum contact of the walls, which provides maximum heat exchange for equalizing temperatures, which are controlled by temperature sensors located inside the cuvettes, connected to processing devices, information from these devices enters the processing and control device, a laptop is used for final data processing, in

which calibration tables of the refractive index of the reference liquid from the temperature are placed, the closed and flow cuvettes are placed in a vertical position, the laser radiation enters the side face of the cuvette at right angle, a Dove prism is installed in front of the closed cuvette, which changes the direction of half of the laser beam coming out of the collimator, after passing the closed and flowing cuvette, scattered laser radiation enters the dividing prism, the use of which ensures the separation of light fluxes, as a result of which one part of the light flux reduces the signal amplitude of the first photodiode ruler and increases the illumination of the second, the other part of the light flux increases the signal amplitude of the first photodiode line and decreases the signal amplitude of the second photodiode line, measuring their values after processing the signals from the data obtained, using a certain ratio, the value of the change in the optical density of the flowing liquid is determined.

EFFECT: invention provides an increase in the accuracy of determining the change in the optical density of the flowing liquid.

1 cl, 5 dwg



Фиг.5

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике, а именно к способам и устройствам для определения состояния текущей среды по измеренному значению показателя преломления. Так как в процессе измерения почти исключен контакт измерительных элементов прибора с исследуемой текущей средой, то это позволяет не вносить изменений в структуру потока, сохранять стерильность среды и т.д. Данный метод не изменяет физическую структуру, химический состав и вкусовые свойства контролируемой жидкости. Основным негативным фактором, который крайне сложно компенсировать, влияющим на погрешность измерения показателя преломления является изменение оптической плотности текущей жидкости. Влияние этого фактора на погрешность измерения показателя преломления крайне сложно измерить, так как на величину погрешности оказывают влияние другие негативные факторы.

Сущность метода заключается в том, что регистрация сигнала происходит от двух пучков лазерного излучения с разным направлением поляризации, проходящими под прямым углом границы, состоящие из исследуемой текущей жидкости, эталонной жидкости и материалов проточной и замкнутой кюветы. Сигналы поступают на две фотодиодные линейки. Одна часть светового потока уменьшает амплитуду сигнала первой фотодиодной линейки и увеличивает освещенность второй. Другая часть светового потока увеличивает амплитуду сигнала первой фотодиодной линейки и уменьшает - второй фотодиодной линейки. Величина разности амплитуд нормированных выходных сигналов с фотодиодных линеек пропорциональна значению  $\beta$  (информативный параметр) и  $L$  (расстоянию от стенки кюветы до фотодиодной линейки).

В известных конструкциях проточных рефрактометров измерение показателя преломления  $n_f$  проточной жидкости основано на регистрации угла отклонения лазерного излучения, выходящего из разностной кюветы Андерсона, которое пропорционально  $\Delta n = n_f - n_c$  ( $n_c$  – показатель преломления неподвижной эталонной жидкости). На основе этой зависимости определяется информативный параметр дифференциального рефрактометра  $\beta$ :

$$\beta = \Delta n \operatorname{tg}(\gamma), \quad (1)$$

где  $\gamma$  – угол между входящим лучом и перпендикуляром к границе раздела проточной и замкнутой емкости.

Угол  $\gamma$  определяется положением оси оптического клина (компенсатора), вращая который достигается максимальное значение отношения сигнал/шум регистрируемого фотоприемником. Проведенные нами исследования показали, что при таком построении конструкции рефрактометра с использованием разностной кюветы Андерсона на точность измерения  $n_f$  влияют следующие погрешности:

1. Погрешность  $\delta_1(\Delta n)$ , связанная с напряжением разбаланса на фотоэлектрическом преобразователе. Для его компенсации используется оптический клин, который вносит дополнительную погрешность за счет увеличения числа отражений между оптическими элементами лазерного излучения;

2. Динамическая погрешность, связанная с изменением температуры текущей жидкости. Эта погрешность существенно влияет на результат измерения при скачкообразном изменении температуры или расхода  $q$  текущей жидкости;

3. Погрешностью  $\delta_2(\Delta n)$ , связанной с наличием в рефрактометрах дифференциального типа на основе кюветы Андерсона транспортного звена для отбора текущей жидкости. Наличие этого звена приводит к появлению времени запаздывания  $\tau_d$  при проведении измерений.

4. Погрешность  $\delta(\Delta n)$ , связанная с изменением оптической плотности текущей жидкости

по сечению трубопровода.

Изобретение иллюстрируется следующими чертежами:

Фиг. 1. Зависимость показателя преломления от температуры  $T_f$ . Графикам 1, 2, 3 соответствуют следующие жидкости: дистиллированная вода, водопроводная вода, этиловый спирт.

Фиг. 2. Зависимость показателя преломления от солёности воды  $N_s$  для различных температур  $T_f$ . Графикам 1, 2, 3 соответствует  $T_f$  в К: 283.1, 293.1, 303.2.

Фиг. 3. Зависимость динамической погрешности проточного рефрактометра от характера изменения расхода  $q$ . Графики 1 и 3 соответствуют изменению  $q$  скачкообразно в ранее используемой и разработанной нами конструкции рефрактометра. Графики 2 и 4 соответствуют режиму  $q = \text{const}$  в ранее используемой и разработанной нами конструкции рефрактометра.

Фиг. 4. Зависимость изменения оптической плотности  $\Delta d$  от значения расхода  $q$  различных сред при  $T_f = 293.2$  К. График 1, 2, 3 соответствуют: воде; водному раствору гидроксида натрия; водному раствору яблочного сока с растворённым сахаром и мякотью.

Фиг. 5. Структурная схема разработанной конструкции рефрактометра дифференциального типа.

Анализ результатов исследований различных сред с использованием конструкции рефрактометра дифференциального типа позволил разработать формулу для определения погрешности измерения  $\delta n_f$ . В данной формуле учитываются все основные факторы, влияющие на  $\delta n_f$ :

$$\delta n_f = \delta(\Delta n) + \delta_1(\Delta n) + \delta_2(\square n) + b(T_f - T_c) + (b(\tau_c \tau_{ft} p_1 + k_1 \tau_{ft} + \tau_c) L^{p_1}) / ((p_1 - p_2)(p_1 - p_3)) - (b(\tau_c \tau_{ft} p_2 + k_2 \tau_{ft} + \tau_c) L^{p_2}) / ((p_1 - p_2)(p_2 - p_3)) + (b(\tau_c \tau_{ft} p_3 + k_2 \tau_{ft} + \tau_c) L^{p_3}) / ((p_1 - p_3)(p_2 - p_3)), \quad (2)$$

$$\text{где } p_1 = -1/\tau_d; p_{2,3} = (-(\tau_c - \tau_{ft}) \pm \sqrt{(\tau_c - \tau_{ft})^2 - 4k_1 \tau_c \tau_{ft}}) / (2\tau_c \tau_{ft}),$$

$\tau_c$  – постоянная времени замкнутой кюветы,  $\tau_{ft}$  – постоянная времени проточной кюветы,  $L$  – расстояние от дифференциальной кюветы до фотоприемника,  $b$  – температурный градиент показателя преломления текущей жидкости,  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты характеризующие размеры проточной и замкнутой кюветы, массу и теплоемкость жидкостей в них находящихся и прочие;  $T_f$  – температура проточной жидкости;  $T_c$  – температура эталонной жидкости.

Соотношение (2) показывает, что проводить исследования влияния оптической плотности на погрешность измерения  $\delta n_f$  в разработанных в настоящее время конструкциях проточных рефрактометров с кюветой Андерсона некорректно. Так как, уменьшая влияние на точность измерения одной погрешности, например, увеличиваем расход жидкости  $q$  (в этом случае уменьшается время запаздывания  $\tau_d$ , на транспортном участке, но возрастает вероятность образования застойных зон) увеличивается вклад от других погрешностей измерения  $n_f$ . При увеличении расхода жидкости  $q$  возрастают погрешности, связанных с изменением температуры и оптической плотности. Кроме того, в дифференциальной кювете есть повороты и углы. Эти факторы также увеличивают влияние различных погрешностей при увеличении  $q$ .

Поэтому нами для исследования влияния оптической плотности на погрешность

измерения  $\delta n_f$  была разработан новый метод измерения  $n_f$ . Для его реализации нами была разработана новая конструкция рефрактометра дифференциального типа с использованием поворотной призмы Дове. Структурная схема разработанной конструкции рефрактометра представлена на фиг. 5.

5 Наиболее близким по технической реализации являются решения, принятые за прототипы (авторские свидетельства СССР: АС № 640184 - опубликовано: 30.12.1978 и АС № 433857 - опубликовано: 12.04.1973). Изобретение описывает способ измерения показателя преломления  $n_f$  жидкой среды с использованием дифференциальной схемы регистрации оптического излучения для контроля качества продуктов путем сравнения оптических характеристик исследуемого продукта с соответствующими оптическими характеристиками эталонных продуктов. В качестве оптических характеристик продукта используют показатели преломления в нескольких спектральных диапазонах. Использование дифференциальной схемы регистрации лазерного излучения позволяет проводить измерения показателя преломления с одинаковой погрешностью измерения в нескольких спектральных диапазонах в отличие от других конструкций рефрактометров. Недостатки этого способа заключаются в том, что жидкая исследуемая среда размещалась в одной из частей дифференциальной кюветы Андерсона. При использовании части этой кюветы для размещения проточной жидкости, показатель преломления которой необходимо измерить, возникнут рассмотренные ранее сложности с компенсацией погрешностей, связанных с изменением температуры, наличием транспортного звена и т.д.

В случае размещения замкнутой кюветы внутри проточной для выравнивания температур исследуемой и эталонной жидкости в конструкции дифференциальной кюветы Андерсона, возникает ряд дополнительных проблем. Основная из которых связана с образованием застойных зон, особенно при быстрых потоках жидкой среды около замкнутой кюветы. В этих зонах накапливаются примеси, которые потом при попадании в среду (особенно в биологических растворах) могут вызвать необратимые процессы.

30 Кроме того, для случая проточной жидкости возникают неопределенность в установлении значения коэффициента пропорциональности  $K_I$ , который зависит от температуры текущей среды и углов падения лазерного излучения на стенки дифференциальной кюветы Андерсона. В случае измерения показателя преломления неподвижной жидкости (представленные прототипы) можно подобрать эталонную жидкость, чтобы значение  $\Delta n$  было небольшим и контролировать изменение температуры. В текущей жидкости это намного сложнее.

В новой разработанной нами конструкции рефрактометра для реализации метода исследования оптической плотности воздействие этих негативных факторов на результаты измерений несущественно. Его структурная схема, представленная на фиг. 40 5, состоит из следующих элементов:

1. Полупроводниковый лазер на гетероструктурах с  $\lambda = 632.8$  нм, с длиной поперечной пространственной когерентности  $L_{\text{lk}} = 10$  мм, углом расходимости излучения  $\theta \approx 0.02$  мрад для создания когерентного, монохроматического излучения;
2. Многофункциональный блок питания полупроводникового лазера и электронных элементов схемы регистрации и обработки информации;
3. Оптическая система (призменный коллиматор), на выходе которого формируется параллельный пучок заданной формы;
4. Призма Дове - отражательная призма, предназначена для оборачивания

изображения при сохранении направления лазерного излучения. В главном сечении призма представляет собой равнобедренную трапецию, боковые стороны которой наклонены к основанию под углом  $45^\circ$ . Изготовлена из кварцевого стекла UVFS.

- 5 5. Замкнутая кювета предназначена для размещения эталонной жидкости. Представляет собой цилиндрический трубопровод с пустотой по центральной оси для размещения проточной кюветы;
6. Проточная кювета для размещения исследуемой текущей жидкости. Представляет собой цилиндрический трубопровод, который размещается внутри замкнутой кюветы;
- 10 7. Делительная призма предназначена для разделения световых потоков. Изготовлена из стекла ВК7;
8. Фотодиодная линейка для регистрации картины прошедшего через кюветы рассеянного лазерного излучения от границ сред для определения освещенности. Для этого фотодиодная линейка состоит из одиночных сенсоров, которые можно объединить
- 15 в фотодиодные структуры для регистрации рассеянного лазерного излучения;
9. Аналого-цифровой преобразователь;
10. Устройство обработки и управления для обработки сигналов информативного отклонения и определения необходимых операции по подстройке оптической системы на максимум отношения сигнал/шум.
- 20 11. Ноутбук;
12. Датчик температуры для контроля температуры текущей среды в зоне проведения измерений. Контроль температуры необходим, так как значения показателя преломления текущей и эталонной среды зависит от значения данного параметра;
13. Блок обработки информации датчика температуры предназначен для введения
- 25 данных о температуре в ноутбук для выбора соответствующих градуировочных таблиц при измерении показателя преломления текущей жидкости.

В новой конструкции оптической части рефрактометра (фиг. 5) полупроводниковый лазер 1 с  $\lambda = 632.8$  нм устанавливается таким образом, чтобы после прохождения оптической систему 3 (призменный коллиматор) его лучей сформировался параллельный

30 пучок заданной формы. Выбор длины волны лазера 1 обусловлен тем, что значения показателей преломления эталонных наборов для поверки рефрактометров измерены на красной линии ( $\lambda = 632.8$  нм) лазерного излучения гелий-неонового лазера. Кроме того, большинство промышленных проточных рефрактометров работают на этой длине волны.

35 В конструкции рефрактометра используются измерительные кюветы цилиндрической формы проточная 6 и замкнутая 5, текущая жидкость движется по проточной кювете 6 в направлении перпендикулярном относительно поступающего на её стенку лазерному излучению, температура текущей жидкости в проточной кювете и эталонной жидкости в замкнутой кювете контролируется датчиками температуры 12, информация от них

40 через специальные устройства 13 поступает на устройство обработки информации 10, для регистрации излучения используются две фотодиодные линейки TSL1406RS, состоящие из 512 фоточувствительных сенсоров (компания AMS-TAOS USA), с длиной фоточувствительного слоя 40.16 мм, с фотодиодных линеек 8 сигналы через аналогово-цифровые преобразователи поступают в устройство обработки информации,

45 разработанное на основе микроконтроллера STM32 (ARM Cortex M3 core - STM32F100RBT6B), микроконтроллера информация поступает на ноутбук, который используется для определения значения  $n_f$  и визуализации различной информации, использование микроконтроллера обязательно, так как рефрактометр используется в

системах автоматического контроля, без таких электронных компонент в устройствах обработки данная конструкция рефрактометра будет не востребована потребителями.

В разработанной нами новой конструкции рефрактометра кюветы 5 и 6 расположены в вертикальном положении. Такой способ расположения кювет позволяет исключить наличие пустот в проточной кювете при малых расходах жидкости, в отличие от ранее используемых конструкций кювет в дифференциальных рефрактометрах. Такое размещение кювет позволяет полностью исключить образование в них застойных зон и обеспечить более эффективный теплообмен между текущей жидкостью и эталонной по сравнению с ранее используемыми конструкциями рефрактометров. Существенно снижается влияние вклада погрешности от изменения температуры  $T_f$  текущей жидкости (особенно при резком изменении  $T_f$ ) на погрешность измерения  $n_f$ . Такое расположение кювет 5 и 6 позволяет исключить из (2) слагаемые, связанные с погрешностями от времени запаздывания и напряжения разбаланса, а также функциональный член  $\delta_2(\Delta n)$ , так как лазерное излучение поступает на стенку трубопровода под прямым углом. В этом случае (2) для определения погрешности приобретает следующий вид:

$$\delta(\Delta n) = 0,993 \frac{\alpha^2 \Delta d}{L \Delta n}, \quad (3)$$

где  $\Delta d = d_f - d_0$  - изменение оптической плотности измеряемой жидкости  $d_f$  относительно начального значения  $d_0$ ,  $\alpha$  - полуширина светового пучка,  $L$  - расстояние от дифференциальной кюветы до фотодиодной линейки  $\Delta n = n_f - n_c$  - разность между показателем преломления неподвижной эталонной жидкости  $n_c$  и текущей жидкости  $n_f$ .

В новом методе для измерения показателя преломления  $n_f$  в разработанной конструкции рефрактометра используется призма Дове 4. На выходе призмы Дове половина лазерного излучения от пучка, которое через неё прошло, изменяет направление на противоположное первоначальному. Далее лазерное излучение поступает на замкнутую кювету 5, потом проходит через проточную кювету 6 с исследуемой жидкостью и через кювету 5 поступает на делительную призму 7. На делительной призме 7 происходит разделение световых потоков. В результате одна часть светового потока уменьшает амплитуду сигнала первой фотодиодной линейки и увеличивает освещенность второй. Другая часть светового потока увеличивает амплитуду сигнала первой фотодиодной линейки и уменьшает - второй фотодиодной линейки. Установлено, что величина разности амплитуд нормированных выходных сигналов с фотодиодных линеек пропорциональна значению  $\beta$  и  $L$  (расстояние от стенки кюветы 6 до фотодиодной линейки). В этом случае формула (1) для определения формативного параметра  $\beta$  преобразуется в следующий вид:

$$\beta = \Delta A = A_{ar}^1 - A_{ar}^2 = LK_{ar} \Delta n = LK_{ar} (n_f - n_c),$$

где  $K_{ar}$  - коэффициент пропорциональности,

$A_{ar}^1, A_{ar}^2$  - нормированные выходные сигналы с фотодиодных линеек.

Нормировка выходного сигнала  $A$  с фотодиодной линейки осуществляется по следующему принципу:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{512} A_i}{A_{max}}, \quad (5)$$

где  $A_{max}$  - максимальное значение сигнала освещенности с элемента фотодиодной линейки,  $A_i$  - амплитуда сигнала с элемента фотодиодной ячейки,  $i$  - номер элемента.

Коэффициент пропорциональности  $K_{ar}$  определяется при предварительной градуировке рефрактометра. Для этого используются две жидкости с известными показателями преломления: дистиллированная вода и этанол (этиловый спирт). Для прозрачных сред значение  $K_{ar}$  не изменяется.

После обработки сигналов нормированные значения их амплитуд  $A_{ar}^1, A_{ar}^2$  используются в соотношении (4) для определения значения  $n_f$ , далее вычисляется  $d$  ( $\Delta n$ ), после чего используя соотношение (3) определяется изменение оптической плотности  $\Delta d$ .

В конструкции фотодиодной линейки TSL1406RS перед фоточувствительным слоем нет фокусирующих оптических элементов, как в других моделях линеек. Поэтому влияние эффектов, связанных с неоднократным отражением лазерного излучения между фоточувствительным слоем и гранями призмы 7, на отношение сигнал/шум на фоточувствительных сенсорах несущественно.

В измерениях показателя преломления с использованием проточных рефрактометров наиболее неинформативным параметром является температура текущей жидкости  $T_f$ . Температура контролируемой и сравнительной жидкости между собой связаны. При изменении  $T_f$  изменяется  $n_f$ , изменяется  $T_c$  и показатель преломления жидкости в замкнутой кювете  $n_c$ . Возникает динамическая погрешность  $\varepsilon^\theta$ , значение и характер изменения которой зависит от режима и параметров работы рефрактометра. В фиксированный момент времени  $\varepsilon^\theta$  можно определить следующей функцией:

$$\varepsilon^\theta \approx b(T_f - T_c). \quad (6)$$

Если среда состоит из нескольких компонент (растворенных друг в друге), например, водный раствор гидроксида натрия, то по причине неодинакового поглощения света по ширине светового потока в слоях текущей жидкости, особенно при их перемешивании, значение  $\Delta d$  незначительно возрастает. Разработанная нами схема компенсации устраняет рассогласования в оптических путях лазерных лучей. Это позволяет проводить измерения показателя преломления с погрешностью  $10^{-4}$  и меньше. В случае более сложной среды, например, водный раствор сока с сахаром и мякотью (прозрачный) до определенного значения расхода  $q$  и температуры текущей среды схема компенсации работает успешно. В дальнейшем влияние изменения значения  $\Delta d$  на погрешность измерения  $\delta(\Delta n)$  увеличивается. Проводить измерения  $n_f$  в данном случае с

погрешностью  $10^{-4}$  и меньше становится сложно.

Изобретение может быть использовано для проведения фундаментальных научных исследований жидких сред для разработки новых и совершенствования используемых методов измерения показателя преломления, а также для контроля состояния различных текущих сред в пищевой, химической и фармацевтической промышленности, сельском хозяйстве, для определения уровня загрязнения сточных вод от промышленных и сельскохозяйственных предприятий и жилых комплексов.

#### Пример

Для подтверждения возможностей использования новой конструкции рефрактометра на фиг. 1 в качестве примера представлены зависимости изменения показателя преломления текущих жидкостей от температуры.

Полученные результаты совпали в пределах погрешности измерений со значениями показателей преломления, полученными ранее на других конструкциях рефрактометров.

На фиг. 2 представлена зависимость показателя преломления  $n_f$  текущей

дистиллированной воды от её солености при различных температурах. Растворенные соли в жидкой среде при измерениях в застойных зонах и на стенках проточной кюветы образуют осадок, что негативно сказывается на работе рефрактометра. В разработанной конструкции данные зоны отсутствуют.

5 Полученные результаты совпали в пределах погрешности измерения с результатами других исследований. Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность предложенного метода измерения  $n_f$  текущей среды.

10 Температурная компенсация в рефрактометрах осуществляется в режиме пассивного температурного теплообмена между жидкостями в двух кюветах и зависит от конструкции кюветного преобразователя рефрактометра. На фиг. 3 в качестве примера представлены зависимости исследования динамической погрешности измерения  $n_f$  для различных режимов изменения расхода жидкости  $q$ .

15 Полученный результат показывает, что в разработанной конструкции рефрактометра влияние динамической погрешности на результат измерения  $n_f$  значительно меньше, чем в ранее используемых конструкциях рефрактометров - аналогах. Это позволяет проводить исследования влияния оптической плотности на погрешность измерения  $n_f$  как при ламинарном, так и при турбулентном режиме течения жидкости. Для различных режимов течения жидкости при стабилизированной температуре двух жидких сред, 20 измеряется значение  $D_n$ . Измерение проводится 10 раз. Определяется  $\delta(\Delta n)$ . Далее в соответствии с (3) вычисляется величина  $D_d$ . На фиг. 4 в качестве примера представлены зависимости изменения  $D_d$  от расхода жидкости в проточной кювете для различных сред.

25 Проведенные нами исследования показали, что в диапазоне температур от 283 до 343 К, если текущая жидкость однородная (без примесей или добавок - вода), то независимо от режима её течения в трубопроводе влияние изменения оптической плотности на погрешность измерения  $n_f$  незначительно. Данный результат соответствует теоретическим результатам.

30

#### (57) Формула изобретения

Способ исследования оптической плотности текущей жидкости, заключающийся в определении формативного параметра  $\beta$  по разности нормированных выходных сигналов с фотодиодных линеек, которые соответствуют максимумам интенсивности 35 рассеянного лазерного излучения, прошедшего через замкнутую кювету с эталонной жидкостью, обладающей известным показателем преломления  $n_c$ , и проточную кювету с исследуемой жидкостью, показатель преломления которой  $n_f$  необходимо контролировать, устанавливая влияние изменения оптической плотности на погрешность измерения показателя преломления текущей среды  $n_f$ , отличающийся 40 тем, что проточная кювета находится внутри замкнутой кюветы, обе кюветы имеют цилиндрическую форму, обеспечивающую максимальное соприкосновение стенок, что обеспечивает максимальный теплообмен для выравнивания температур, которые контролируются датчиками температуры, размещенными внутри кювет, подключенными к устройствам обработки, информация от этих устройств поступает в устройство 45 обработки и управления, для окончательной обработки данных применяется ноутбук, в котором размещены градуировочные таблицы показателя преломления эталонной жидкости от температуры, замкнутая и проточная кюветы размещены в вертикальном положении, лазерное излучение поступает на боковую грань кюветы под прямым углом,

перед замкнутой кюветой устанавливается призма Дове, которая у половины лазерного пучка, вышедшего из коллиматора, изменяет направление, после прохождения замкнутой и проточной кюветы рассеянное лазерное излучение поступает на делительную призму, использование которой обеспечивает разделение световых потоков, в результате чего

одна часть светового потока уменьшает амплитуду сигнала первой фотодиодной линейки и увеличивает освещенность второй, другая часть светового потока увеличивает амплитуду сигнала первой фотодиодной линейки и уменьшает - второй фотодиодной линейки, измеряя после обработки сигналов нормированные значения их амплитуд

$A_{ar}^1, A_{ar}^2$ , значение  $n_f$  и вычисляя  $\delta(\Delta n)$ , после чего используя соотношение

$$\delta(\Delta n) = 0,993 \frac{\alpha^2 \Delta d}{L \Delta n},$$

где  $\Delta d$  - изменение оптической плотности текущей жидкости относительно начального значения,  $\text{см}^{-1}$ ;

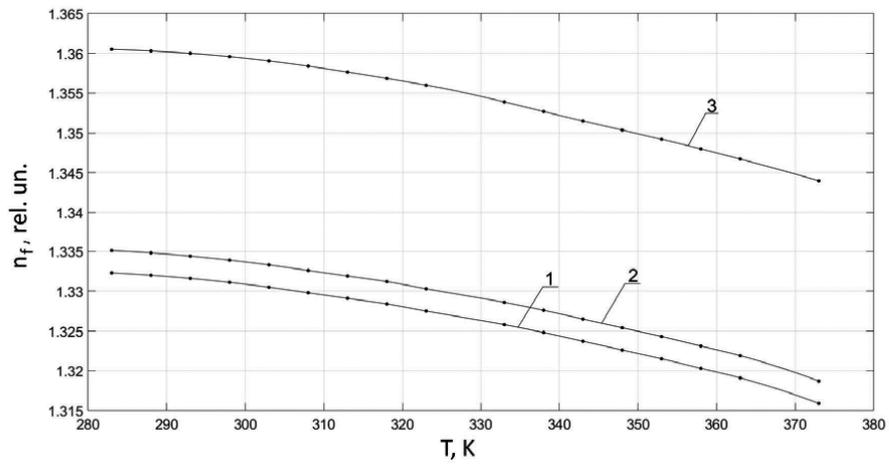
$a$  – полуширина светового пучка,  $\text{см}^{-1}$ ;

$L$  - расстояние от замкнутой кюветы до фотодиодной линейки, см;

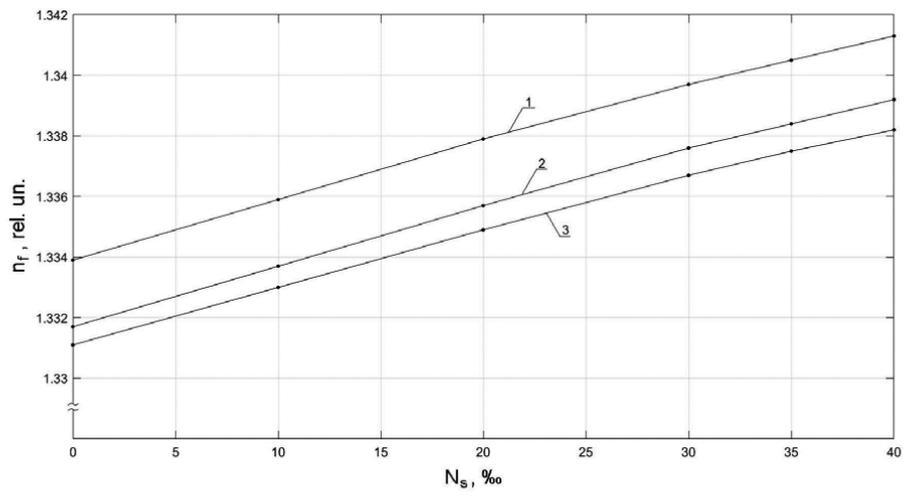
$\Delta n = n_f - n_c$  – разность между показателем преломления неподвижной эталонной жидкости  $n_c$  и текущей жидкости  $n_f$ , отн. ед.,

по полученным данным определяется значение изменения оптической плотности текущей жидкости.

1

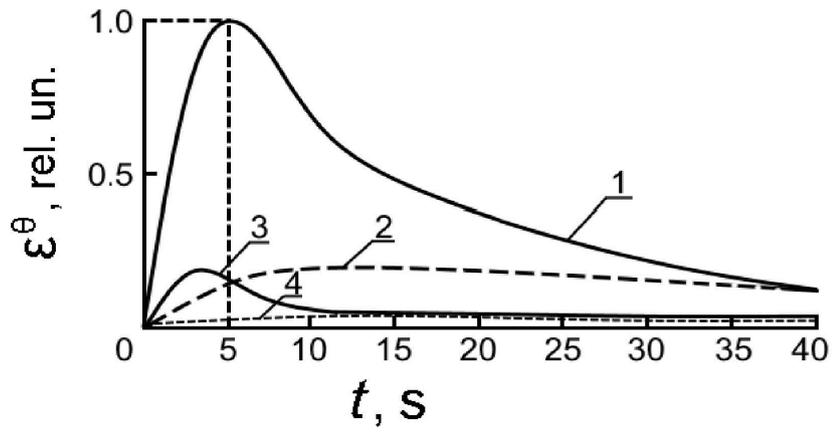


Фиг. 1

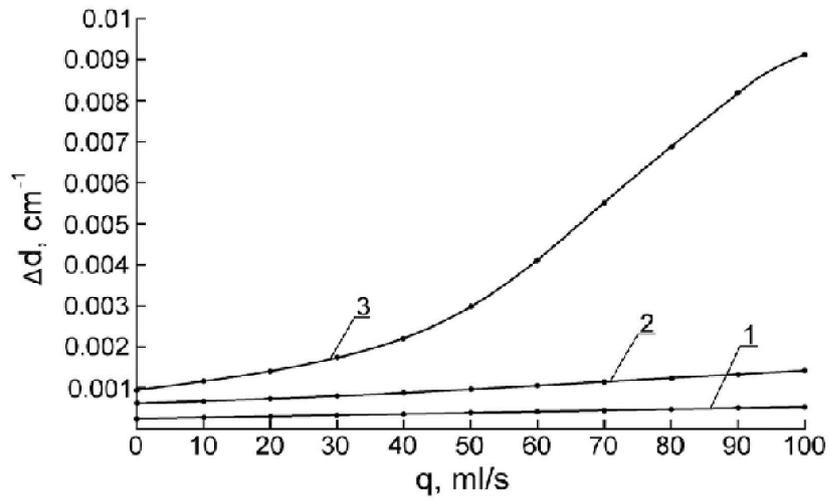


Фиг. 2

2



Фиг. 3



Фиг. 4

