

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА КАЧЕСТВА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Т. И. Мурашкина¹, Е. А. Бадеева², В. А. Бадеев³

^{1,2,3} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹ timurashkina@mail.ru, ² badeeva_elena@mail.ru, ³ vladbadeev4464@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* От качества нефтепродуктов зависят технические характеристики и работоспособность оборудования. Анализ состава нефтепродукта проводят, как правило, в лабораторных условиях с помощью оптических способов диагностики. Из оптических способов наибольшее распространение получили рефрактометрические способы определения состава нефти по коэффициентам преломления, которое изменяется при изменении химического состава. Основной недостаток известных методов анализа – это большое время проведения измерений, связанный с необходимостью отбора пробы из трубопровода. Для экспресс-анализа состава веществ запатентованы рефрактометрический способ и волоконно-оптический датчик (ВОД) для его реализации. Объектом исследования являются процессы экспресс-анализа качества нефти и нефтепродуктов. Предметом исследования являются научно-технические решения рефрактометрических волоконно-оптических датчиков качества нефтепродуктов. Целью работы является разработка конструктивно-технологического решения повышенной надежности для экспресс-анализа качества нефти и нефтепродуктов не только в лабораторных, но в сложных эксплуатационных условиях. *Материалы и методы.* Авторы предлагают проводить экспресс-анализ состава нефтепродуктов непосредственно на участке трубопровода, по которому протекает жидкость, по аналогии с датчиками давления, которые устанавливаются непосредственно на трубу. Для этого к трубке пробозаборного устройства предлагается присоединить ВОД качества жидкости. Основным подходом для достижения поставленной цели является адаптация известных технических решений ВОД путем модернизации микро-оптико-механической системы (МОМС). Для повышения надежности ВОД и систем на их основе предложено исключить механические информативные и неинформативные изгибы волоконно-оптического кабеля, что возможно на пути применения микро-оптико-механической системы, в которых оптическое волокно не деформируется. *Результаты.* Разработано конструктивно-технологическое решение ВОД качества нефтепродуктов повышенной надежности на базе разработанного двухканального волоконно-оптического преобразователя с цилиндрической полый трубкой с жидкостью, коэффициент преломления которой определяется. *Выводы.* Разработанное конструктивно-технологическое решение ВОД, который осуществляет мгновенное измерение показателя преломления жидкости в трубопроводе, позволит повысить надежность пробоотборной системы нефтепроводов, снизить необоснованные затраты процесса пробоотбора, повысить точность измерения показателей качества жидкого прозрачного для видимого и ИК-излучения нефтепродукта. Разработанный ВОД можно использовать для экспресс-мониторинга не только в системах пробоотбора нефтепроводов, но и для диагностики загрязнения водной составляющей окружающей среды, а также для определения типа жидкости практически во всех отраслях народного хозяйства.

Ключевые слова: конструктивно-технологическое решение, волоконно-оптический датчик, экспресс-анализ, качество, рефрактометрический способ, показатель преломления, трубка, нефть и нефтепродукты

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-10017.

Для цитирования: Мурашкина Т. И., Бадеева Е. А., Бадеев В. А. Конструктивно-технологическое решение волоконно-оптического датчика для экспресс-анализа качества нефти и нефтепродуктов // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 1. С. 108–115. doi: 10.21685/2307-4205-2024-1-12

CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL SOLUTION FIBER OPTIC SENSOR FOR EXPRESS ANALYSIS OF THE QUALITY OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS

T.I. Murashkina¹, E.A. Badeeva², V.A. Badeev³

^{1,2,3} Penza State University, Penza, Russia

¹ timurashkina@mail.ru, ² badeeva_elena@mail.ru, ³ vladbadeev4464@gmail.com

Abstract. Background. The technical characteristics and operability of the equipment depend on the quality of petroleum products. The analysis of the composition of petroleum products is carried out, as a rule, in laboratory conditions using optical diagnostic methods. Of the optical methods, the most widely used are refractometric methods for determining the composition of oil by refractive coefficients, which changes when the chemical composition changes. The main disadvantage of the known methods of analysis is the long measurement time associated with the need to take a sample from the pipeline. For the express analysis of the composition of substances, a refractometric method and a fiber-optic sensor (FOS) for its implementation have been patented. The object of the study is the processes of express analysis of the quality of oil and petroleum products. The subject of the research is scientific and technical solutions of refractometric fiber-optic sensors of the quality of petroleum products. The aim of the work is to develop a design and technological solution of a fiber-optic sensor of increased reliability for express analysis of the quality of oil and petroleum products not only in the laboratory, but in difficult operating conditions. *Materials and methods.* The authors propose to conduct an express analysis of the composition of petroleum products directly on the section of the pipeline through which the liquid flows, by analogy with pressure sensors that are installed directly on the pipe. To do this, it is proposed to attach a liquid FOS to the tube of the sampling device. The main approach to achieve this goal is the adaptation of well-known technical solutions of water by upgrading the micro-optical-mechanical system (MOMS). In order to increase the reliability of waters and systems based on them, it is proposed to exclude mechanical informative and uninformative bends of fiber-optic cable, which is possible in the way of using MOMS, in which optical fibers are not deformed. *Results.* A constructive and technological solution has been developed to improve the quality of petroleum products of increased reliability on the basis of a developed two-channel fiber-optic converter with a cylindrical hollow tube with a liquid, the refractive index of which is determined by. *Conclusions.* The developed design and technological solution of the VOD, which performs instantaneous measurement of the refractive index of the liquid in the pipeline, will increase the reliability of the sampling system of oil pipelines, reduce unreasonable costs of the sampling process, increase the accuracy of measuring the quality indicators of liquid transparent to visible and IR radiation of petroleum products. The developed water can be used for express monitoring not only in oil pipeline sampling systems, but also for diagnosing pollution of the water component of the environment, as well as for determining the type of liquid in almost all sectors of the national economy.

Keywords: structural and technological solution, fiber-optic sensor, express analysis, quality, refractometric method, refractive index, tube, oil and petroleum products

Financing: the research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation № 23-29-10017.

For citation: Murashkina T.I., Badeeva E.A., Badeev V.A. Constructive and technological solution fiber optic sensor for express analysis of the quality of oil and petroleum products. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2024;(1):108–115. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-4205-2024-1-12

Введение

На базе нефтепродуктов работает практически вся современная техника. От качества этих продуктов зависят технические характеристики и работоспособность оборудования. Поэтому к качеству нефти и нефтепродуктов (дизельного топлива, бензина, керосина и пр.) выдвигаются высокие требования. Выделяются следующие основные показатели качества нефти: состав сред, плотность и вязкость вещества. Например, если вязкость нефтепродукта низкая, то повышается вероятность выхода из строя подвижных частей оборудования, если, наоборот, вязкость высокая, то топливо и масла нельзя использовать при пониженных температурах [1].

Основные физические и химические процессы, приводящие к изменению качества нефти, следующие: испарение, загрязнение водой и механическими примесями, отслоение, смешение разных сортов нефтей, разложение, конденсация, коррозия и т.д. [2].

В современной практике контроля качества проводится оперативный экспресс-анализ, который проводится в том числе по упрощенным методикам [2]. Если выявлены какие-либо отклонения от нормы тогда проводится тщательная лабораторная проверка вещества.

Широко применяется поточный метод определения качества нефти и нефтепродуктов в процессе их транспортирования по трубопроводам с помощью пробоотборников [2]. Пробу нефти или нефтепродукта из трубопровода отбирают стационарным пробоотборником. Пробозаборные трубки монтируют на корпусе диспергатора [ГОСТ 2517-2012. Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб]. Пробу из трубопровода отбирают в процессе перекачивания при скорости жидкости на входе в пробозаборное устройство, равной средней линейной скорости жидкости в трубопроводе. Если поток жидкости в трубопроводе однородный (содержание воды, солей и механических примесей одинаково по поперечному сечению), то пробозаборное устройство устанавливают внутри трубопровода на вертикальном или горизонтальном участках трубопровода после насоса или перемешивающего

устройства. Загнутый конец трубки пробозаборного устройства располагают по оси трубопровода навстречу потоку (рис. 1).

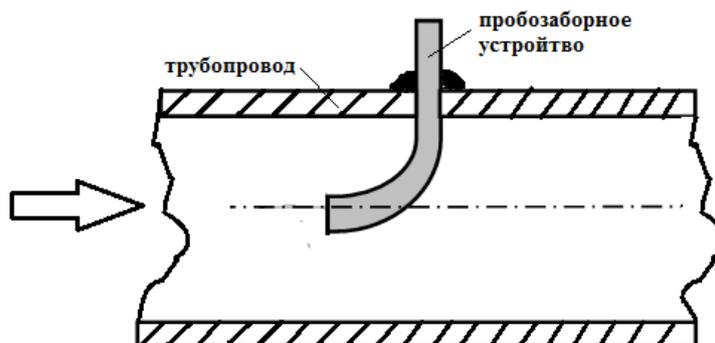


Рис. 1. Схема расположения пробозаборного устройства в виде одной трубки [ГОСТ 2517-2012]

Анализ состава нефтепродукта, размещенного в нефtezаборнике, проводят, как правило, в лабораторных условиях с помощью оптических способов диагностики. Из оптических способов наибольшее распространение получили рефрактометрические способы определения состава нефти по коэффициентам преломления, которое изменяется при изменении химического состава [3].

Известен ряд рефрактометрических способов определения коэффициента преломления жидкости, общим недостатком которых является большое время измерения параметров, характеризующих качество нефтепродуктов [4–6].

В лабораторных условиях определение коэффициента преломления нефти проводится с помощью рефрактометра. Наиболее распространенным прибором этого типа, дающим достаточно точные результаты, является рефрактометр ИРФ-454Б2М [7]. Но, несмотря на то, что определение коэффициента преломления с помощью этого рефрактометра – быстрая операция, следует иметь в виду, что из тонкой пленки нефти или нефтепродукта, нанесенных на призму рефрактометра, очень быстро улетучиваются наиболее легкие предельные углеводороды, и коэффициент преломления при этом заметно увеличивается. Поэтому исследователи стараются как можно быстрее нанести каплю нефти на стекло и сразу закрыть измерительную головку прибора. Кроме того, из-за нерезкой границы освещенного и неосвещенного полей в окуляре точность определения коэффициента низкая.

Самый главный недостаток – это большое время проведения измерений, связанное с необходимостью отбора пробы из трубопровода.

В работе [8] были предложены рефрактометрический способ экспресс-анализа состава прозрачных для видимого и инфракрасного оптического излучения веществ и упрощенное конструктивное решение волоконно-оптического устройства для его реализации. Стоит задача адаптации этого технического решения для определения качества нефти и нефтепродуктов.

Таким образом, целью работы является разработка конструктивно-технологического решения волоконно-оптического датчика (ВОД) повышенной надежности для экспресс-анализа качества нефти и нефтепродуктов не только в лабораторных, но в сложных эксплуатационных условиях.

Методы и подходы

Авторы предлагают проводить экспресс-анализ состава нефтепродуктов непосредственно на участке трубопровода, по которому протекает жидкость, по аналогии с датчиками давления, которые устанавливаются непосредственно на трубу. Для этого к трубке пробозаборного устройства предлагается присоединить ВОД качества жидкости.

Основным подходом для достижения поставленной цели является адаптация известных технических решений ВОД [9] путем модернизации оптико-механической системы (МОМС) ВОД. На основании анализа механической надежности известных ВОД [10] сделан вывод: для повышения надежности ВОД и систем на их основе в сложных условиях эксплуатации необходимо исключить механические информативные и неинформативные изгибы волоконно-оптического кабеля, что возможно на пути применения МОМС, в которых оптические волокна не деформируются [9]. На основании такого вывода происходил выбор принципа действия ВОД качества нефти и нефтепродуктов. Были исключены технические решения на основе береговских решеток и рассматривались

волоконно-оптические измерительные преобразователи (ВОП), в которых модуляция оптического сигнала может осуществляться с помощью различных оптико-модулирующих элементов [9].

Результаты

На рис. 2 приведена конструкция ВОД качества нефтепродуктов на базе разработанного двух-канального волоконно-оптического преобразователя с цилиндрической полый трубкой с жидкостью, коэффициент преломления которой определяется в работах [11–13].

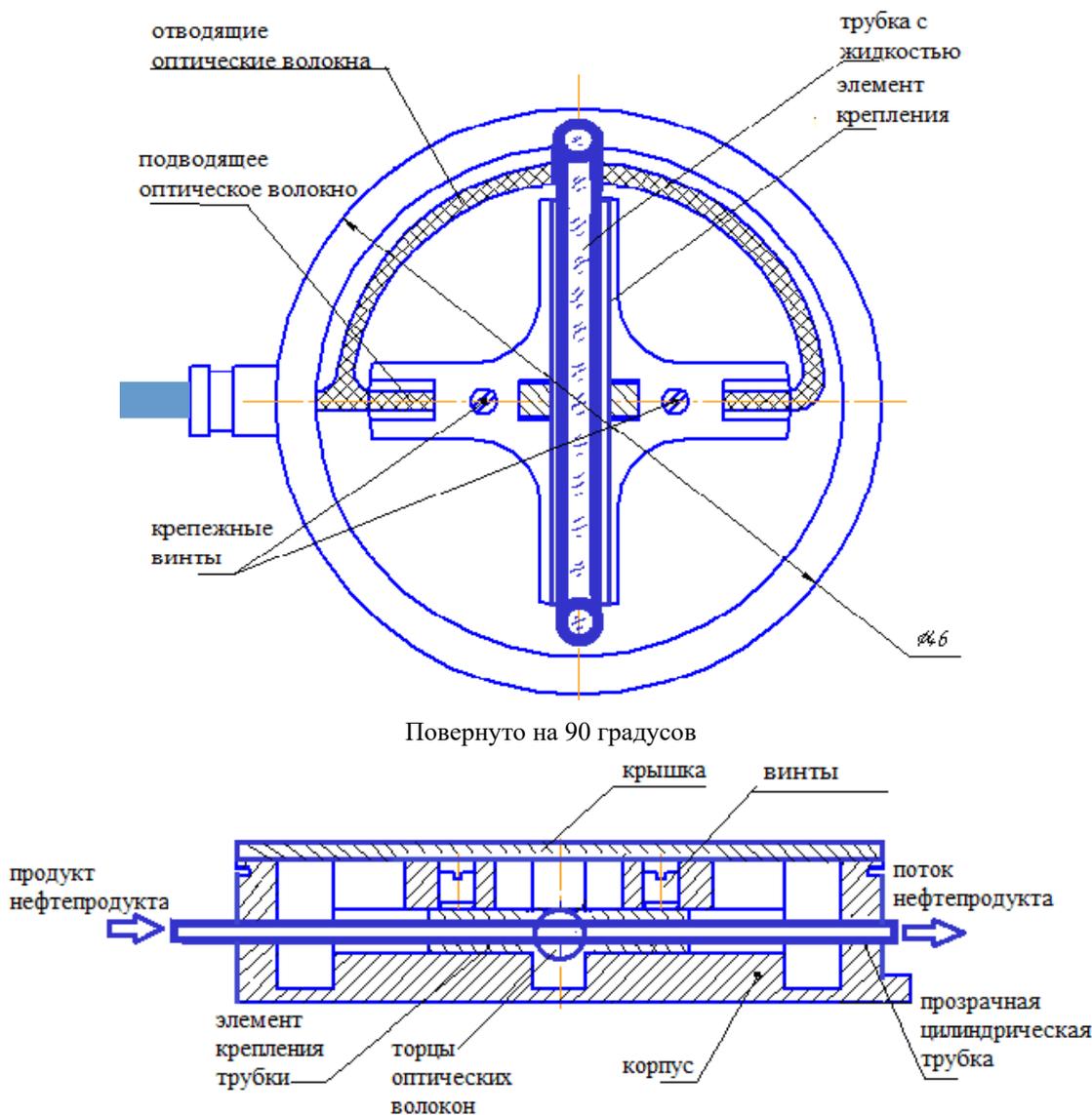


Рис. 2. Рефрактометрический волоконно-оптический датчик качества нефтепродукта

В цилиндрическом корпусе размещен ВОП, состоящий из цилиндрической трубки, закрепленной в корпусе с помощью крестообразного элемента крепления, а также одного подводящего оптического волокна (ПОВ) и двух отводящих оптических волокон (ООВ) (по одному на каждый из двух измерительных каналов).

Для того, чтобы оптические волокна не сломались в процессе сборки и эксплуатации датчика, они укладываются в специальную выемку в основании корпуса и заливаются герметиком. При этом радиус изгиба оптических волокон не меньше десяти внешних диаметров волокна [14]. Так, для применяемых «кварц-кварцевых» оптических волокон типа ZLWF200/240/270HT//360, внешний диаметр которых 0,36 мм, принят минимальный радиус 3,6 мм, а для большей надежности конструкции он увеличен до 5 мм. В месте максимального изгиба для большей надежности оптические волокна помещены во фторопластовые трубки.

Для установки расстояний и определения пространственного расположения торцов, концы подводящих и отводящих оптических волокон крепятся с помощью эпоксидного клея во втулки, которые фиксируются установочными винтами. Одновременно винты фиксируют элемент крепления трубки с жидкостью. Расстояния от ПОВ до трубки и от трубки до ООВ выбираются из условия наиболее эффективного ввода оптического излучения в волоконный микро-оптический канал [9].

Втулка с подводящим оптическим волокном – прозрачная цилиндрическая трубка, втулка с отводящими оптическими волокнами расположены на одной оптической оси. В конструкции важно обеспечить абсолютную соосность этих элементов. Отклонение от соосности порядка 10 мкм может привести к полной неработоспособности датчика. Поэтому в элементе крепления отверстия для крепления втулок изготавливаются сверлением с помощью одного сверла с одного захода [15]. В процессе юстировки соосность трубки с жидкостью относительно втулок с оптическими волокнами обеспечивается перемещением трубки по оси z с помощью кольцевых прокладок (на рисунке не показаны) переменной толщины, располагаемых сверху и снизу трубки в месте крепления крестообразного элемента крепления. Прокладки имеют толщину от 0,01 до 0,1 мм. Толщина прокладок подбирается в процессе юстировки оптической системы датчика.

Так как разрабатываемый ВОД работает в широком температурном диапазоне, характерном изделиям нефтяной промышленности, то основные корпусные элементы выполнены из стали 12Х18Н10Т.

Полость датчика должна быть герметичной, поэтому все внешние конструктивные элементы датчика соединяются с помощью сварки (в частности, корпус и крышка датчика). Но перед сваркой для предотвращения образования конденсата на оптических элементах ВОП (поверхность трубки, торцы подводящих и отводящих оптических волокон) при перепадах температур в период эксплуатации датчика в полость датчика закачивается аргон, коэффициент преломления которого 1,000067 и который близок к коэффициенту преломления воздуха (1,000293), при котором происходит настройка датчика. Ввиду того, что датчик используется для определения коэффициента преломления во втором или третьем знаке после запятой, аргон не повлияет на метрологические характеристики датчика после его окончательной сборки.

В соответствии с ГОСТ 2517-2012 при неоднородном потоке жидкости пробозаборное устройство имеет разное количество пробозаборных трубок с загнутыми концами, направленными навстречу потоку:

- одна трубка – при диаметре трубопровода до 100 мм;
- три трубки – при диаметре трубопровода от 100 до 400 мм;
- пять трубок – при диаметре с трубопровода выше 400 мм.

Поэтому в систему пробоотвода необходимо ставить соответствующее количество датчиков.

ВОП предлагаемого датчика выполнено двухканальным [11]. Это сделано с целью:

- увеличения чувствительности преобразования за счет суммирования нескольких световых потоков (соответственно количеству отводящих оптических волокон);
- снижения дополнительных погрешностей, обусловленных:
 - изменением мощности источника излучения, чувствительности приемников излучения при изменении температуры окружающей среды;
 - неинформативными изгибами оптического кабеля под воздействием внешних дестабилизирующих факторов.

Обсуждения

Предлагаемое конструктивно-технологическое решение датчика позволяет:

- упростить процедуру юстировки волоконной микро-оптической системы ВОП;
- уменьшить массо-габаритные характеристики ВОП и датчика в целом;
- проводить экспресс-мониторинг качественных параметров нефтепродуктов;
- исключить электромагнитное воздействие на результаты измерения;
- повысить точность измерения показателя преломления.

ВОД, реализующие рефрактометрический способ измерения показателя преломления нефтепродуктов, описанный в работе [9], можно использовать для экспресс-мониторинга не только в системах пробоотбора нефтетрубопроводов, но и для диагностики загрязнения водной составляющей окружающей среды, а также для определения типа жидкости практически во всех отраслях народного хозяйства.

Заключение

Разработанное конструктивно-технологическое решение ВОД, который осуществляет мгновенное измерение показателя преломления жидкости в трубопроводе, позволит повысить надежность пробоотборной системы нефтепроводов, снизить необоснованные затраты процесса пробоотбора, повысить точность измерения показателей качества жидкого прозрачного для видимого и ИК-излучения нефтепродукта.

Список литературы

1. Замалаев С. Н., Мызников Д. С. Косвенное определение характеристик взвешенных в дизельном топливе частиц через скорость его транспортирования по трубопроводу // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Т. 13, № 3. С. 232–235.
2. Ханов Н. И., Фатхутдинов А. Ш. Измерение количества и качества нефти и нефтепродуктов при сборе, транспортировке, переработке и коммерческом учете. СПб. : Из-во СПбУЭФ, 2010. 270 с.
3. Evdokimov I. N., Eliseev N. Yu., Akhmetov B. R. Initial stages of asphaltene aggregation in dilute crude oil solutions: studies of viscosity and NMR relaxation // Fuel. 2002. Vol 82, № 7. P. 817–823.
4. Волкова Г. В. Световодный рефрактометрический датчик контроля химического состава жидких сред : дис. ... канд. техн. наук. М., 2004. 145 с.
5. Латышенко К. П. Мониторинг загрязнения окружающей среды : учебник и практикум для среднего профессионального образования. М. : Изд-во Юрайт, 2019. 375 с.
6. Патент РФ 2292038, МПК G 01N 21/41. Способ измерения показателя преломления и устройство для его реализации / Волков Р. И., Федоров Э. И. № 2005106125/28 ; заявл. 03.09.2005, опубл. 20.01.2007.
7. Акмаров К. А., Артемьев В. В., Белов Н. П. [и др.]. Промышленные рефрактометры и их применение для контроля химических производств // Приборы. 2012. № 4 (142). С. 1–8.
8. Патент РФ 2796797. Волоконно-оптический способ определения коэффициента преломления прозрачного вещества и реализующий его волоконно-оптический рефрактометрический измерительный преобразователь / Бадеева Е. А., Бадеев В. А., Мурашкина Т. И., Серебряков Д. И., Хасаншина Н. А., Васильев Ю. А., Кукушкин А. Н. № 2021130405А ; заявл. 18.10.2021 ; опубл. 29.05.2023, Бюл. № 14.
9. Мурашкина Т. И., Бадеева Е. А. Волоконно-оптические приборы и системы: научные разработки НТЦ «Нанотехнологии волоконно-оптических систем Пензенского государственного университета». СПб. : Политехника, 2018. Ч. 1. 187 с.
10. Бадеева Е. А., Бадеев В. А., Славкин И. Е. [и др.]. Повышение надежности ВОД давления, эксплуатируемых в условиях космических факторов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии : сб. тр. XV Междунар. науч.-практ. конф. / под. ред. С. У. Увайсова. М. : Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2019. Вып. 1. С. 256–259.
11. Бадеева Е. А., Мурашкина Т. И., Полякова Е. А. [и др.]. Реализация принципа двухканальности в волоконно-оптических информационно-измерительных системах // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. № 2 (58). С. 87–98.
12. Бадеев В. А., Мурашкина Т. И. Микрорефрактометрический измерительный преобразователь для определения качества жидкостных сред // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2023. Т. 1. С. 474–476.
13. Бадеев В. А., Шачнева Л. А., Шапетько Е. А., Мурашкина Т. И. Применение волоконно-оптических рефлексометрических микросенсоров при мониторинге состояния водной среды // Материалы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации (Шляндинские чтения-2022) : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 106–108.
14. Вейнберг В. Б., Сатаров Д. К. Оптика световодов. Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1977. 320 с.
15. Ишков А. С., Солодимова Г. А., Кучковская Н. А. Управление надежностью и качеством датчиков как изделий ответственного назначения // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т. 2. С. 18–25.

References

1. Zamalaev S.N., Myznikov D.S. Indirect determination of the characteristics of particles suspended in diesel fuel through the speed of its transportation through a pipeline. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov* = . 2023;13(3):232–235. (In Russ.)
2. Khanov N.I., Fatkhutdinov A.Sh. *Izmerenie kolichestva i kachestva nefi i nefteproduktov pri sbore, transportirovke, pererabotke i kommercheskom uchete* = *Measurement of quantity and quality oil and petroleum products in the collection, transportation, processing and commercial accounting*. Saint Petersburg: Iz-vo SRbUEF, 2010:270. (In Russ.)

3. Evdokimov I.N., Eliseev N.Yu., Akhmetov B.R. Initial stages of asphaltene aggregation in dilute crude oil solutions: studies of viscosity and NMR relaxation. *Fuel*. 2002;82(7):817–823.
4. Volkova G.V. Light-guide refractometric sensor for monitoring the chemical composition of liquid media. PhD dissertation. Moscow, 2004:145. (In Russ.)
5. Latyshenko K.P. *Monitoring zagryazneniya okruzhayushchey sredy: uchebnik i praktikum dlya srednego professional'nogo obrazovaniya = Environmental pollution monitoring : textbook and workshop for secondary vocational education*. Moscow: Izd-vo Yurayt, 2019:375. (In Russ.)
6. Patent RF 2292038, MPK G 01N 21/41. A method for measuring the refractive index and a device for its implementation. R.I. Volkov, E.I. Fedorov. № 2005106125/28; appl. 03.09.2005, publ. 20.01.2007. (In Russ.)
7. Akmarov K.A., Artem'ev V.V., Belov N.P. et al. Industrial refractometers and their application for the control of chemical industries. *Pribory = Devices*. 2012;(4):1–8. (In Russ.)
8. Patent RF 2796797. Fiber-optic method for determining the refractive index of a transparent substance and a fiber-optic refractometric measuring transducer implementing it. Badeeva E.A., Badeev V.A., Murashkina T.I., Serebryakov D.I., Khasanshina N.A., Vasil'ev Yu.A., Kukushkin A.N. № 2021130405A; appl. 18.10.2021; publ. 29.05.2023, Bull. № 14. (In Russ.)
9. Murashkina T.I., Badeeva E.A. *Volokonno-opticheskie pribory i sistemy: nauchnye razrabotki NTTs «Nanotekhnologii volokonno-opticheskikh sistem Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta» = Fiber-optic devices and systems: scientific developments of the Scientific Research Center "Nanotechnology of fiber-optic systems of Penza State University"*. Saint Petersburg: Politehnika, 2018;(part 1):187. (In Russ.)
10. Badeeva E.A., Badeev A.V., Slavkin I.E. et al. Improving the reliability of pressure waters operated under conditions of space factors. *Innovatsionnye, informatsionnye i kommunikatsionnye tekhnologii: sb. tr. XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Innovative, information and communication technologies : collection of tr. XV International scientific and practical conference*. Moscow: Assotsiatsiya vypusknikov i sotrudnikov VVIA im. prof. Zhukovskogo, 2019;(1):256–259. (In Russ.)
11. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Polyakova E.A. et al. Implementation of the principle of two-channel operation in fiber-optic information and measurement systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of higher educational institutions. The Volga region. Technical sciences*. 2021;(2):87–98. (In Russ.)
12. Badeev V.A., Murashkina T.I. A microrefractometric measuring transducer for determining the quality of liquid media. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2023;1:474–476. (In Russ.)
13. Badeev V.A., Shachneva L.A., Shapet'ko E.A., Murashkina T.I. The use of fiber-optic reflexometric microsensors in monitoring the state of the aquatic environment. *Materialy, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noy informatsii (Shlyandinskie chteniya-2022): materialy XIV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. = Materials, means and technologies for obtaining and processing measuring information (Shlyandinsky readings-2022) : materials of the XIV International scientific and technical conf*. Penza: Izd-vo PGU, 2022:106–108. (In Russ.)
14. Veinberg V.B., Satarov D.K. *Optika svetovodov = Optics of light guides*. Leningrad: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1977:320. (In Russ.)
15. Ishkov A.S., Solodimova G.A., Kuchkovskaya N.A. Reliability and quality management of sensors as products of responsible purpose. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2018;2:18–25. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Татьяна Ивановна Мурашкина

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры приборостроения,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: timurashkina.pgu@mail.ru

Tatyana I. Murashkina

Doctor of technical sciences, professor,
professor of the sub-department of instrument making,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Елена Александровна Бадеева

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры
радиотехники и радиоэлектронных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: badeeva_elena@mail.ru

Elena A. Badeeva

Doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the sub-department
of radio engineering and radio electronic systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Владислав Александрович Бадеев

студент,

Пензенский государственный университет

(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: vladbadeev4464@gmail.com

Vladislav A. Badeev

Student,

Penza State University

(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 10.12.2023

Поступила после рецензирования/Revised 18.01.2023

Принята к публикации/Accepted 10.02.2024