

Применение пьезокварцевых микровесов для экспрессного внелабораторного определения фактических смол в дизельных топливах

Татьяна А. Кучменко	¹	tak1907@mail.ru	 0000-0001-7812-9195
Дарья А. Порядина	²	sibilda1@ya.ru	 0000-0003-0652-2574
Иван С. Бузакин	²	sibilda1@ya.ru	
Ирина А. Грибоедова	¹	i.griboedova@ya.ru	
Павел А. Карлов	¹	petrkarloff@ya.ru	

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Филиал военной академии Ракетных Войск Стратегического Назначения имени Петра Великого, ул. Бригадная, 17, г. Серпухов, 142210, Россия

Аннотация. В статье показана возможность применения метода пьезокварцевого микровзвешивания и модели портативного прибора на основе высокочувствительных пьезовесов для экспрессной оценки концентрации фактических смол в дизельном топливе. Приведена сравнительная характеристика методов определения фактических смол в дизельном топливе: стандартного метода Бударова – выпаривание до сухого остатка под струей водяного пара до постоянной массы, метод фракционной перегонки – нагревание до температуры испарения, охлаждение газовой фракции и измерения объема неперегоняемого остатка. Рассмотрено устройство высокочувствительных кварцевых пьезовесов, основные закономерности, характеристики при эксплуатации. В качестве объектов исследования выбраны образцы дизельного топлива марки Л-0,2-62 ГОСТ 305-82 «Топливо дизельное. Технические условия» разных производителей и дат розлива, предоставленных в автопарке ФВА РВСН им. Петра Великого (город Серпухов). Представлены результаты исследования дизельного топлива по стандартным методикам определения содержания фактических смол, цетанового числа, плотности, кинематической вязкости, кислотности, содержания водорастворимых кислот и щелочей, содержания механических примесей и воды, фракционного состава – температуры перегонки 50 и 96 % топлива, температуры вспышки в закрытом тигле, температуры помутнения и температуры застывания, испытание на медной пластине. Дана характеристика эксплуатационных свойств каждого образца. Применен метод пьезокварцевого микровзвешивания с односторонней нагрузкой исследуемой пробой дизельного топлива электрода резонатора, чувствительного по массе (ОАВ-типа). Изучена корреляция между результатами, полученными пьезокварцевым микровзвешиванием и по стандартной методике. Положительно оценена возможность применения метода пьезокварцевого микровзвешивания для разработки экспрессного внелабораторного определения нелетучего остатка в дизельном топливе.

Ключевые слова: качество, дизельное топливо, концентрация смол, экспрессный способ, пьезокварцевое микровзвешивание

Application of piezo quartz microweights for express out-of-laboratory determination of actual resins in diesel fuels

Tatiana A. Kuchmenko	¹	tak1907@mail.ru	 0000-0001-7812-9195
Darya A. Poryadina	²	sibilda1@ya.ru	 0000-0003-0652-2574
Ivan S. Buzakin	²	sibilda1@ya.ru	
Irina A. Griboedova	¹	i.griboedova@ya.ru	
Pavel A. Karlov	¹	petrkarloff@ya.ru	

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Branch of the Military Academy of Strategic Missile Forces named after Peter the Great, Brigadnaya st., 17, Serpukhov, 142210, Russia

Abstract. The article shows the possibility of using the piezo quartz microweighting method and a portable device model based on highly sensitive piezoweights for express assessment of the concentration of actual resins in diesel fuel. A comparative characteristic of the methods for determining the actual resins in diesel fuel is given: the standard Budarov method is evaporation to a dry residue under a jet of water vapor to a constant mass, the fractional distillation method is heating to the evaporation temperature, cooling the gas fraction and measuring the volume of the non-distillable residue. The device of highly sensitive quartz piezoweights, the main patterns, characteristics during operation are considered. Samples of diesel fuel of the brand L-0,2-62 GOST 305-82 "Diesel fuel" were selected as objects of research. Technical specifications of different manufacturers and filling dates provided in the fleet of the FVA RVSН im. Peter the Great (Serpukhov city). The results of a study of diesel fuel according to standard methods for determining the content of actual resins, cetane number, density, kinematic viscosity, acidity, water-soluble acids and alkalis, mechanical impurities and water content, fractional composition - distillation temperatures of 50 and 96% of fuel, flash point in a closed crucible, turbidity temperature and solidification temperature, test on a copper plate are presented. The characteristic of the operational properties of each sample is given. The method of piezo-quartz microweighting with a one-way load of the investigated diesel fuel breakdown of the resonator electrode, mass-sensitive (OAV-type), is applied. The correlation between the results obtained by piezo-quartz microweighting and the standard method was studied. The possibility of using the piezo-quartz microweighting method for the development of express out-of-laboratory determination of non-volatile residue in diesel fuel is positively evaluated.

Keywords: quality, diesel fuel, concentration resins, express method, piezoquartz microweighting

Для цитирования

Кучменко Т.А., Порядина Д.А., Бузакин И.С., Грибоедова И.А., Карлов П.А. Применение пьезокварцевых микровесов для экспрессного внелабораторного определения фактических смол в дизельных топливах // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 226–231. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-226-231

For citation

Kuchmenko T.A., Poryadina D.A., Buzakin I.S., Griboedova I.A., Karlov P.A. Application of piezo quartz microweights for express out-of-laboratory determination of actual resins in diesel fuels. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 226–231. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-4-226-231

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Для оценки способности дизельных топлив образовывать низкотемпературные отложения (эффективность применения топлив на технике) и стабильности свойств (окисляемость) контролируют показатель «концентрация фактических смол» (мг/100 см³). Этот показатель входит в перечень полного анализа дизельных топлив, оценивает их эксплуатационные свойства. Чем ниже химическая стабильность дизельного топлива, тем выше показатель концентрации фактических смол и ниже допустимые сроки хранения в различных условиях [1].

В соответствие с требованиями ГОСТ этот показатель определяют методом Бударова [1, 2].

Сущность метода заключается в выпаривании точного объема топлива с последующим определением массы остатка, состоящего из фактических смол и других нелетучих соединений под струей водяного пара. Т.е. в основе методики лежит наиболее точный из аналитических методов, но длительный – гравиметрия. Стандартная методика требует применения дорогостоящего аппаратного оформления, высоких энергетических затрат, особых условий использования, выполняются только в специализированных лабораториях. При этом для анализа в режиме «на месте» методика практически неприменима [3].

Альтернативным способом определения фактических смол является фракционная перегонка. Способ заключается в поэтапном нагревании пробы дизельного топлива до температуры полного испарения жидкой фазы и отгонки фракций до неиспаряемого остатка, по массе которого определяется концентрация фактических смол. Недостаток этого способа заключается в его длительности (не менее 2 часов) [2].

Перспективным направлением определения содержания фактических смол в дизельном топливе является применение высокочувствительных пьезокварцевых микровесов, кварцевая пластина которых колеблется с высокой частотой и генерирует в следствие пьезоэффекта объемные

акустические волны. известно их широкое применение в качестве микровесов с разрешением до 10⁻¹¹ г, которые могут контактировать как с газовыми, так и с жидкими средами. Основным уравнением, которое описывает преобразования изменений массы, присоединенной к поверхности пьезорезонатора, в приращение выходной частоты автогенератора (отклик), является уравнение Зауэрбрея [4]:

$$\Delta F = -k \times \Delta m,$$

где ΔF – изменение резонансной частоты, Гц; k – константа, которая объединяет характеристики кварца, электродов, условий микровзвешивания; Δm – изменение массы на электродах резонатора, мкг.

Малые размеры пьезовесов и схем их возбуждения позволяют разработать портативное измерительное устройство с элементами Пельтье для быстрого испарения летучих соединений, последующего охлаждения неиспаряемого остатка и определения его массы.

Достоинства предложенного решения заключаются в применении малых объемов проб – не более 1–5 мкл, в низкой коррозионной активности электродов (серебро, золото, алюминий), которые являются наиболее чувствительной областью резонаторов, что позволяет неограниченно применять недорогие комплектующие до их физического выхода из строя.

Цель работы – оценить возможность применения способа измерения содержания фактических смол в дизельном топливе значительно снижающий время и себестоимость анализа по сравнению с существующими решениями с применением портативного устройства на основе двух пьезовесов высокой частоты.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны 8 образцов продукта «Топливо дизельное» марки ДТ-Л-0,2–62 ГОСТ 305–82 «топливо дизельное. Технические условия» разных производителей и дат розлива, предоставленных в автопарке ФВА РВСН имени Петра Великого (таблица 1).

Таблица 1.

Характеристика объектов исследования

Table 1.

Characteristics of research objects

Образец Sample	Наименование продукта, марка Product name, brand	Изготовитель Manufacturer
1	Топливо дизельное Л – 0,2–62 Diesel fuel L – 0,2–62	Омский НПЗ Omsk Oil Refinery
2		Рязанский НПЗ Ryazan Oil Refinery
3		Омский НПЗ* Omsk Oil Refinery*
4		Омский НПЗ* Omsk Oil Refinery*
5		Волгограднефтепереработка Volgogradneftepererabotka
6		Омский НПЗ* Omsk Oil Refinery*
7		Орскнефтеоргсинтез Orsknefteorgsintez
8		Омский НПЗ* Omsk Oil Refinery*

* – образцы предоставлены одинаковым производителем, дата отбора проб различная

* – samples are provided by the same manufacturer, the sampling date is different

Для всех проб измерены стандартные показатели: цетановое число; плотность при 20 °С; кинематическая вязкость при 20 °С; температура перегонки 50 и 96% топлива; содержание фактических смол, мг на 100 см³ топлива; кислотность, мг КОН на 100 см³ топлива; содержание водорастворимых кислот и щелочей; температура вспышки в закрытом тигле, °С; температура помутнения, °С; температура застывания, °С; содержание механических примесей и воды; испытание на медной пластине [1, 2].

В качестве чувствительных микровесов применяли пьезорезонаторы ОАВ-типа с базовой частотой 10.0 МГц на длинных ножках и серебряными электродами диаметром 5 мм (рисунок 1).

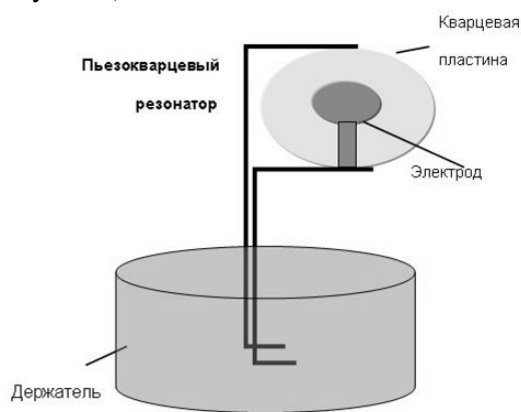


Рисунок 1. Схема подготовленного к исследованию пьезорезонатора

Figure 1. Diagram of the piezoresonator prepared for the study

Для предотвращения растекания неводных проб за границы тензочувствительной области (наибольшая чувствительность по массе), вследствие малого поверхностного натяжения и высокой смачиваемости поверхности, на кварцевой пластине формировали контур вокруг электрода, не захватывая его, толщиной 1–2 мм (рисунок 2).

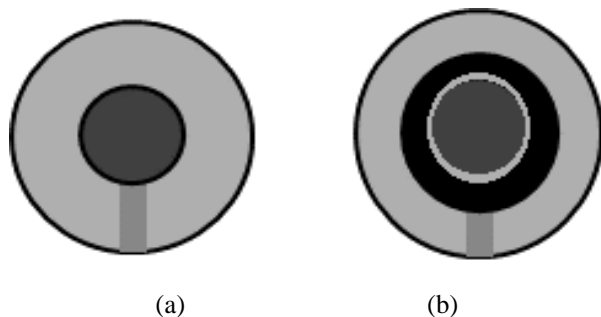


Рисунок 2. Схема формирования контура вокруг электрода пьезорезонатора: исходного (а) и после нанесения (б)

Figure 2. Diagram of the contour formation around the piezoresonator electrodes: initial (a) and after application (b)

Для этого с помощью капилляра диаметром 1 мм наносили окружность из поливинилацетатного клея. Сушили при температуре 95–100 °С в течение 20 мин [5–6].

В качестве частотомера для измерения массы сухого остатка применяли одноканальный анализатор «САГО» (ООО «Сенсорика-Новые Технологии», Россия) с персональным программным обеспечением для фиксирования частоты колебаний кварца с разрешением 1 Гц/с. Измеряли частоту колебания пьезорезонатора до нагрузки пробой и после испарения летучей фракции в течение 5–10 с (до стабилизации частоты колебаний с разбросом не более 5 Гц/5 с). При этом пробу наносили на один электрод пьезорезонатора (одноосная, односторонняя нагрузка).

Подготовка проб дизельного топлива заключалась в отборе средней пробы образца и при необходимости в микрофилтровании. Фиксировали исходную частоту колебаний резонатора F_0 (МГц) с ограничивающим контуром и закрепляли в переносной держатель.

На верхний электрод, внутрь контура, наносили микрошприцем анализируемую пробу бензина (иного топлива) объемом 1–5 мкл и высушивали каплю пробы в сушильном шкафу в течение 10 мин при температуре 95 ± 2 °С. В портативной модели устройства эту функцию выполняет элемент Пельтье [6–8].

Охлаждали резонатор в эксикаторе и устанавливали в частотомер. Измеряли повторно частоту колебаний резонатора после сушки с нелетучим остатком на электроде F_c (МГц). Рассчитывали изменение частоты колебаний кварцевой пластины до нанесения пробы и после высушивания ΔF (МГц):

$$\Delta F = (F_0 - F_c) \cdot 10^6, \quad (1)$$

где F_0 – исходная частота колебаний резонатора, Гц; F_c – частота колебаний после высушивания нанесенной капли пробы, Гц.

Содержание фактических смол в дизельном топливе $m_{\text{пьюзо}}$ (мкг) рассчитывали по уравнению Зауэрбрея [5]:

$$m_{\text{пьюзо}} = \frac{\Delta F \cdot S}{2.27 \cdot F_0^2},$$

где S – площадь электродов резонатора, см².

После каждого анализа проводили удаление нелетучего остатка спиртом или толуолом, далее просушивали резонатор.

Правильность результатов микровзвешивания оценивали по результатам, полученным фракционной перегонкой топлив по ГОСТ 2177–99 (ИСО 3405–88) [2, 9].

Результаты

Предварительно определяли стандартные показатели качества для проб дизельного топлива Л-0,2-62, связанные с содержанием компонентов нефтяных фракций и других нелетучих соединений (таблица 2).

Установлено, что образцы № 1, № 3-7 соответствуют требованиям по всем контролируемым показателям.

В образцах № 2 и № 8 цетановое число ниже регламентированного значения, они характеризуются недостаточным самовоспламенением, из-за присутствия бензиновой фракции [10].

В образце № 8 цетановое число ниже заявленного, кинематическая вязкость и температура вспышки занижены среди выборки, кислотность и содержание фактических смол несколько

выше средней по выборке. Этот образец можно охарактеризовать, как образец длительного хранения, его рекомендуется расходовать в первую очередь, так как в нем возможно образование низкотемпературных отложений [10].

Образец № 2 характеризуется цетановым числом ниже нормативного значения согласно ГОСТу, а температура перегонки на 50% ниже средней по выборке. Предположительно в образец добавлена керосиновая фракция. Данное топливо рекомендуется эксплуатировать при более низких температурах. Для образца № 3 характерно минимальное содержание фактических смол среди других проб из рассматриваемой выборки, кислотность пробы завышена. Этот образец является топливом длительного хранения [2, 10].

Таблица 2.

Результаты анализа образцов дизельного топлива на соответствие требованиям ГОСТ 305-82

Table 2.

The results of the analysis of diesel fuel samples for compliance with the requirements of GOST 305-82

Показатель Indicator	ГОСТ 305-82 GOST 305-82	Номера проб (согласно таблицы 1) Sample numbers (according to Table 1)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Цетановое число Cetane number	≥45	48	41,9	50,1	48	50,1	47	50	41,2
Плотность при 20 °С, г/см³ Density at 20 °C, g/cm³	< 0,860	0,843	0,837	0,846	0,843	0,845	0,848	0,863	0,827
Фракционный состав Fractional composition									
Тп 50%, °С Distillation temperature 50%, °C	< 280	279	258	274	279	273	278	275	262
Тп 96%, °С Distillation temperature 96%, °C	< 360	359	355	345	359	353	350	358	368
Вязкость кинематическая при 20 °С Kinematic viscosity at 20 °C	3,0-6,0	4,90	4,46	4,77	5,0	4,69	5,02	4,94	3,65
Содержание фактических смол, мг на 100 см³ топлива Actual resin content, mg per 100 cm³ Fuel	< 40	10,2	11,0	4,5	10,0	7	14,0	8	13
Кислотность, мг КОН на 100 см³ топлива Acidity, mg KOH per 100 cm³ of fuel	< 5	0,46	0,89	2,65	0,51	1,28	1,3	0,09	2,49
Температура вспышки в закрытом тигле, °С Flash point in a closed crucible, °C	> 40	79	72	65	79	65	72	69	63
Температура помутнения, °С Turbidity temperature, °C	< -5	-7	-5	-9	-5	-5	-9	-7	-8
Температура застывания, °С Solidification temperature, °C	< -10	-15	-10	-15	-12	-15	-17	-16	-15
Испытание на медной пластинке Copper plate test	Выдерживает Sustain	Выдерживает Sustain							
Содержание водорастворимых кислот и щелочей Content of watersoluble acids and alkalis	Отсутствие Unavailability	Отсутствие Unavailability							
Содержание механических примесей и воды Content of mechanical impurities and water	Отсутствие Unavailability	Отсутствие Unavailability							

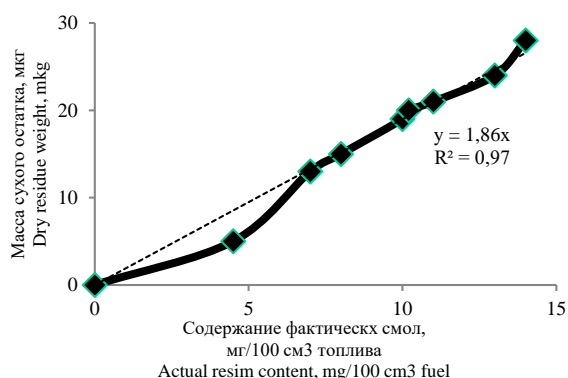


Рисунок 3. Зависимость массы сухого (неиспаряемого) остатка, мкг и содержанием фактических смол, мг/100 см³, полученным методом фракционной перегонки

Figure 3. Dependence of the mass of dry (non-evaporable) residue, mkg and the content of actual resins, mg/100 cm³, obtained by fractional distillation

Закключение

Положительно оценена возможность применения метода пьезокварцевого микро-взвешивания для разработки экспрессного способа оценки нелетучего остатка дизельных топлив и бензинов. Показана возможность быстрой оценки свойств топлива по стандартным показателям, которые соответствуют требованиям стандарта, но отражают особенности их состава.

Благодарности

Результаты получены при выполнении НИР в рамках гранта по программе «У.М.Н.И.К» № 11438ГУ/2017.

Литература

- 1 ГОСТ 305–82. Топливо дизельное. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2003. 14 с.
- 2 Емельянов В. Е., Данилов А. М. Роль химмотологии в производстве и применении автомобильных бензинов // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2014. №. 6. С. 13-14.
- 3 ГОСТ 8489–85. Топливо моторное. Метод определения фактических смол (по Бударову). М.: Стандартинформ, 1985. 14 с.
- 4 Кучменко Т.А. Химические сенсоры на основе пьезокварцевых микровесов. Проблемы аналитической химии. М.: Наука, 2011. Т. 14. 203 с.
- 5 Пат. № 2678091, RU, G01N 27/12, H01L 41/04. Устройство для определения сухого остатка, нелетучих соединений в питьевых, сточных, природных водах, топливах, пищевых продуктах / Кучменко Т.А., Грибоедова И.А., Шурыгин О.А., Кучменко Д.А. № 2017133684; Заявл. 27.09.2017; Оpubл. 23.01.2019, Бюл. № 3.
- 6 Пат. № 2680163, RU, G01N 5/04. Способ определения содержания нелетучих соединений в неводных средах / Кучменко Т.А., Грибоедова И.А., Порядина Д.А. № 2017141339; Заявл. 27.11.2017; Оpubл. 18.02.2019, Бюл. № 5.
- 7 Грибоедова И.А., Абрамян М.К., Кучменко Т.А. "Dry-wight" – новое решение для оценки качества топлив // Проблемы и инновационные решения в химической технологии: материалы Вероссийской конференции с международным участием. 2019. С. 157–158.
- 8 Грибоедова И.А., Кучменко Т.А. "Dry-weight" для экспрессной оценки нелетучих соединений в различных по природе объектах // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы IV Международной научной конференции. 2019. С. 14–17.
- 9 ГОСТ 2177–99. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава. М.: Стандартинформ, 2001. 20 с.
- 10 Макушев Ю.П. Химмотология. Омск: СибАДИ, 2019. 156 с.
- 11 Tsanaksidis C.G., Favvas E.P., Scaltsoyianes A.A., Christidis S.G. et al. Natural resins and their application in antifouling fuel technology: Part I: Improving the physicochemical properties of diesel fuel using natural resin polymer as a removable additive // Fuel processing technology. 2013. V. 114. P. 135-143. doi: 10.1016/j.fuproc.2013.03.043
- 12 Tsanaksidis C.G., Favvas E.P., Tzilanotis G.T., Christidis S.G. et al. Water removal from biodiesel/diesel blends and jet fuel using natural resin as dehydration agent // The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2015. V. 93. №. 10. P. 1812-1818. doi: 10.1002/cjce.22279
- 13 Zheng Y., Tang Q., Wang T., Wang J. Kinetics of synthesis of polyoxymethylene dimethyl ethers from paraformaldehyde and dimethoxymethane catalyzed by ion-exchange resin // Chemical Engineering Science. 2015. V. 134. P. 758-766. doi: 10.1016/j.ces.2015.05.067
- 14 Liu R., Zhang Y., Ding J., Wang R. et al. Ion exchange resin immobilised 12-tungstophosphoric acid as an efficient and recoverable catalyst for the oxidative removal of organosulfur targetting at clean fuel // Separation and Purification Technology. 2017. V. 174. P. 84-88. doi:10.1016/j.seppur.2016.10.004
- 15 Li S., Li N., Li G., Li L. et al. Lignosulfonate-based acidic resin for the synthesis of renewable diesel and jet fuel range alkanes with 2-methylfuran and furfural // Green Chemistry. 2015. V. 17. №. 6. P. 3644-3652.
- 16 Katekaew S., Suiyay C., Senawong K., Seithanabutara V. et al. Optimization of performance and exhaust emissions of single-cylinder diesel engines fueled by blending diesel-like fuel from Yang-hard resin with waste cooking oil biodiesel via response surface methodology // Fuel. 2021. V. 304. P. 121434. doi: 10.1016/j.fuel.2021.121434
- 17 Tejero M.A., Ramirez E., Fité C., Tejero J. et al. Esterification of levulinic acid with butanol over ion exchange resins // Applied Catalysis A: General. 2016. V. 517. P. 56-66. doi: 10.1016/j.apcata.2016.02.032
- 18 Antunes B.M., Rodrigues A.E., Lin Z., Portugal I. et al. Alkenes oligomerization with resin catalysts // Fuel Processing Technology. 2015. V. 138. P. 86-99. doi: 10.1016/j.fuproc.2015.04.031
- 19 Guileria J., Ramirez E., Fité C., Tejero J. et al. Synthesis of ethyl hexyl ether over acidic ion-exchange resins for cleaner diesel fuel // Catalysis Science & Technology. 2015. V. 5. №. 4. P. 2238-2250.
- 20 Pelaez R., Marin P., Ordonez S. Synthesis of poly (oxymethylene) dimethyl ethers from methylal and trioxane over acidic ion exchange resins: A kinetic study // Chemical Engineering Journal. 2020. V. 396. P. 125305. doi: 10.1016/j.cej.2020.125305

References

- 1 GOST 305–82. Diesel fuel. Technical conditions. Moscow, Standartinform, 2003. 14 p. (in Russian).
- 2 Emelyanov V.E., Danilov A.M. Bulletin of oil companies. 2014. no. 6. pp. 13-14. (in Russian).
- 3 GOST 8489–85. Motor fuel. Method for determining actual pitches (according to Budarov). Moscow, Standartinform, 1985. 14 p. (in Russian).
- 4 Kuchmenko T.A. Chemical sensors based on piezoelectric microbalance. Analytical chemistry problems. Moscow, Nauka, 2011. vol. 14. 203 p. (in Russian).
- 5 Kuchmenko T.A., Griboyedova I.A., Shurygin O.A., Kuchmenko D.A. A device for determining the dry residue, non-volatile compounds in drinking, waste, natural waters, fuels, food products. Patent RF, no. 2678091, 2019. (in Russian).
- 6 Kuchmenko T.A., Griboyedova I.A., Poryadina D.A. Method for determining the content of non-volatile compounds in non-aqueous media. Patent RF, no. 2680163, 2019. (in Russian).
- 7 Griboyedova I.A., Abramyan M.K., Kuchmenko T.A. "Dry-wight" - a new solution for assessing the quality of fuels. Problems and innovative solutions in chemical technology: materials of the Russian conference with international participation. 2019. pp. 157-158. (in Russian).
- 8 Griboyedova I.A., Kuchmenko T.A. "Dry-weight" for the rapid assessment of non-volatile compounds in objects of various nature. Donetsk Readings 2019: education, science, innovation, culture and modern challenges: materials of the IV International Scientific Conference. 2019. pp. 14-17. (in Russian).


- 9 GOST 2177–99. Petroleum products. Methods for determining the fractional composition. Moscow, Standartinform, 2001. 20 p. (in Russian).
- 10 Makushev Yu.P. Chemotology. Omsk, SibADI, 2019. 156 p. (in Russian).
- 11 Tsanaksidis C.G., Favvas E.P., Scaltsoyiannes A.A., Christidis S.G. et al. Natural resins and their application in antifouling fuel technology: Part I: Improving the physicochemical properties of diesel fuel using natural resin polymer as a removable additive. Fuel processing technology. 2013. vol. 114. pp. 135-143. doi: 10.1016/j.fuproc.2013.03.043
- 12 Tsanaksidis C.G., Favvas E.P., Tzilantonis G.T., Christidis S.G. et al. Water removal from biodiesel/diesel blends and jet fuel using natural resin as dehydration agent. The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2015. vol. 93. no. 10. pp. 1812-1818. doi: 10.1002/cjce.22279
- 13 Zheng Y., Tang Q., Wang T., Wang J. Kinetics of synthesis of polyoxymethylene dimethyl ethers from paraformaldehyde and dimethoxymethane catalyzed by ion-exchange resin. Chemical Engineering Science. 2015. vol. 134. pp 758-766. doi: 10.1016/j.ces.2015.05.067
- 14 Liu R., Zhang Y., Ding J., Wang R. et al. Ion exchange resin immobilised 12-tungstophosphoric acid as an efficient and recoverable catalyst for the oxidative removal of organosulfur targeting at clean fuel. Separation and Purification Technology. 2017. vol. 174. pp. 84-88. doi:10.1016/j.seppur.2016.10.004
- 15 Li S., Li N., Li G., Li L. et al. Lignosulfonate-based acidic resin for the synthesis of renewable diesel and jet fuel range alkanes with 2-methylfuran and furfural. Green Chemistry. 2015. vol. 17. no. 6. pp. 3644-3652.
- 16 Katekaew S., Suiyay C., Senawong K., Seithanabutra V. et al. Optimization of performance and exhaust emissions of single-cylinder diesel engines fueled by blending diesel-like fuel from Yang-hard resin with waste cooking oil biodiesel via response surface methodology. Fuel. 2021. vol. 304. pp. 121434. doi: 10.1016/j.fuel.2021.121434
- 17 Tejero M.A., Ramirez E., Fité C., Tejero J. et al. Esterification of levulinic acid with butanol over ion exchange resins. Applied Catalysis A: General. 2016. vol. 517. pp. 56-66. doi: 10.1016/j.apcata.2016.02.032
- 18 Antunes B.M., Rodrigues A.E., Lin Z., Portugal I. et al. Alkenes oligomerization with resin catalysts. Fuel Processing Technology. 2015. vol. 138. pp. 86-99. doi: 10.1016/j.fuproc.2015.04.031
- 19 Guilera J., Ramirez E., Fité C., Tejero J. et al. Synthesis of ethyl hexyl ether over acidic ion-exchange resins for cleaner diesel fuel. Catalysis Science & Technology. 2015. vol. 5. no. 4. pp. 2238-2250.
- 20 Pelaez R., Marin P., Ordonez S. Synthesis of poly (oxymethylene) dimethyl ethers from methylal and trioxane over acidic ion exchange resins: A kinetic study. Chemical Engineering Journal. 2020. vol. 396. pp. 125305. doi: 10.1016/j.cej.2020.125305

Сведения об авторах

Татьяна А. Кучменко д.х.н., профессор, заведующая кафедрой, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tak1907@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7812-9195>

Дарья А. Порядина к.х.н., преподаватель кафедры, кафедра Материаловедения и ремонта вооружения, Филиал Военной академии ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого, ул. Бригадная, д. 17, г. Серпухов, 142210, Россия, sibilal@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0652-2574>

Иван С. Бузакин курсант, факультет стартовых и технических комплексов ракет, Филиал Военной академии ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого, ул. Бригадная, д. 17, г. Серпухов, 142210, Россия, sibilal@ya.ru

Ирина А. Грибоедова студент, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, i.griboedova@ya.ru

Павел А. Карлов студент, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, petrkarloff@ya.ru


Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Tatiana A. Kuchmenko Dr. Sci. (Chem.), professor, head of department, physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tak1907@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7812-9195>

Darya A. Poryadina Cand. Sci. (Chem.), lecturer of department, materials science and armament repair department, Branch of the Military Academy of Strategic Missile Forces named after Peter the Great, Brigadnaya st., 17, Serpukhov, 142210, Russia, sibilal@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0652-2574>

Ivan S. Buzakin student, faculty of launch and technical complexes of rockets, Branch of the Military Academy of Strategic Missile Forces named after Peter the Great, Brigadnaya st., 17, Serpukhov, 142210, Russia, sibilal@ya.ru

Irina A. Griboedova student, physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, i.griboedova@ya.ru

Pavel A. Karlov student, physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, petrkarloff@ya.ru

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/10/2021	После редакции 15/11/2021	Принята в печать 03/12/2021
Received 18/10/2021	Accepted in revised 15/11/2021	Accepted 03/12/2021