

## Разработка экспрессного способа микрогравиметрического определения фактических смол в бензинах

Татьяна А. Кучменко<sup>1</sup> tak1907@mail.ru  
Ирина А. Грибоедова<sup>1</sup> i.griboedova@yandex.ru  
Дарья А. Порядина<sup>2</sup> sibilda1@yandex.ru

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

<sup>2</sup> Военная академия Ракетных Войск Стратегического Назначения им. Петра Великого, ул. Бригадная, 17, г. Серпухов, 142210, Россия

**Реферат.** Предложен новый подход для быстрой, простой оценки одного из показателей качества бензинов – концентрации фактических смол. Измерены отдельные стандартные показатели качества для исследуемых проб бензинов (с октановым числом 92), связанные с содержанием компонентов нефтяных фракций и других нелетучих соединений. Применен метод пьезокварцевого микровзвешивания с односторонней нагрузкой исследуемым бензином электрода резонатора, чувствительного по массе (ОАВ-типа) с ограничивающим контуром. Изучена корреляция между результатами, полученными пьезокварцевым микровзвешиванием, и по стандартной методике. Определены критические точки разработанного способа – стадия нанесения точного объема проб на электрод резонатора микрошприцем. Методом молекулярной абсорбционной спектроскопии в средней УФ-области относительно гексана установлены различия в составе компонентов нефтяной фракции проб бензина. Применен принцип сравнения «отпечатков пальцев» для сопоставления и установления степени идентичности спектров и состава для проб бензина по нескольким характерным точкам на спектрах. Для нахождения и оценки тесноты связи между результатами различных методов использован непараметрический метод для малых выборок ранговой корреляцией Спирмена. Установлено, что значения коэффициентов корреляции рангов Спирмена для пьезокварцевого микровзвешивания и оптической плотности пика, присутствующего во всех пробах бензина при характеристической длине волны имеют прямую и сильную тесноту связи. Зависимость признаков является статистически значимой, имеется тесная линейная связь между параметрами. Положительно оценена возможность применения метода пьезокварцевого микровзвешивания для разработки экспрессного способа оценки нелетучего остатка бензинов.

**Ключевые слова:** качество топлив, бензины, концентрация фактических смол, экспрессный способ, пьезокварцевое микровзвешивание, пьезорезонаторы

## Development of express method of microgravimetric determination of actual resins in petrols

Tat'yana A. Kuchmenko<sup>1</sup> tak1907@mail.ru  
Irina A. Griboedova<sup>1</sup> i.griboedova@yandex.ru  
Dar'ya A. Poryadina<sup>2</sup> sibilda1@yandex.ru

<sup>1</sup> Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

<sup>2</sup> Military Academy of the strategic missile forces named after Peter the Great, Brigadnaya st., 17, Serpukhov, 142210, Russia

**Summary.** A new approach is proposed for a quick, simple assessment of one of the quality indicators of gasoline - the concentration of actual pitches. Separate standard quality indicators for the gasoline samples (with octane number 92), which are associated with the content of the components of petroleum fractions and other non-volatile compounds, were measured. The method of piezoquartz micro-weighting with one-sided loading of the resonant electrode of the resonator, sensitive on mass (OAB-type) with a limiting contour, is used. The correlation between the results obtained by piezoquartz micro-weighting and by the standard method was studied. Critical points of the developed method are determined - the stage of applying the exact volume of samples to the resonator electrode with a micro syringe. The method of molecular absorption spectroscopy in the middle UV region relative to hexane revealed differences in the composition of the components of the petroleum fraction of gasoline samples. The principle of comparing "fingerprints" is used to compare and establish the degree of identity of spectra and composition for gasoline samples from several characteristic points on the spectra. To find and evaluate the tightness of the connection between the results of different methods, a nonparametric method for small samples with the Spearman rank correlation was used. It is established that the values of the Spearman's correlation coefficients for the piezoquartz microweighting and the peak optical density present in all gasoline samples at the characteristic wavelength have a direct and strong tightness of the connection. The dependence of the signs is statistically significant, there is a close linear relationship between the parameters. The possibility of applying the piezoquartz micro-weighting method to develop an express method for estimating the non-volatile residue of gasoline was positively evaluated.

**Keywords:** quality of fuels, gasolines, concentration of actual pitches, express method, piezoquartz microweighting, piezoresoles

Для цитирования

Кучменко Т.А., Грибоедова И.А., Порядина Д.А. Разработка экспрессного способа микрогравиметрического определения фактических смол в бензинах // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 3. С. 136–142. doi:10.20914/2310-1202-2017-3-136-142

For citation

Kuchmenko T.A., Griboedova I.A., Poryadina D.A. Development of express method of microgravimetric determination of actual resins in petrols. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 3. pp. 136–142. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-3-136-142

### Введение

Для оценки способности бензинов образовать низкотемпературные отложения (эффективность применения топлив на технике) и стабильности свойств (окисляемость) контролируют показатель «концентрация фактических смол» (мг/100 см<sup>3</sup>). Этот показатель входит в перечень полного анализа бензинов и дизельных топлив, оценивает их эксплуатационные свойства [1].

Кроме того, чем ниже химическая стабильность бензина, тем больше показатель концентрации фактических смол и ниже допустимые сроки хранения бензинов в различных условиях [2].

В соответствие с требованиями ГОСТ этот показатель определяется двумя методами: выпаривания струей [3] и паровым методом Бударова [4].

Сущность обоих методов заключается в выпаривании точного объема топлива с последующим определением массы остатка, состоящего из фактических смол и других нелетучих соединений в условиях потока воздуха [3] и под струей водяного пара [4].

Стандартные методики требуют применения сложного аппаратного оформления, высоких энергетических затрат и выполняются только в специализированных лабораториях.

Альтернативным способом определения фактических смол в бензинах является фракционная перегонка. Подход заключается в поэтапном нагревании пробы бензина до температуры полного испарения жидкой фазы и отгонки фракций до неиспаряемого остатка, по массе которого определяется концентрация фактических смол. Недостаток такого способа заключается в его длительности (не менее 2 часов). Кроме того, все перечисленные методы и решения позволяют определить условные показатели состава топлив, определяемые условиями эксперимента.

Перспективным направлением определения содержания фактических смол в бензинах является применение пьезокварцевых резонаторов, генерирующих объемные акустические волны. Они, благодаря высокой чувствительности по массе, широко применяются как чувствительные микровесы, которые могут контактировать как с газовыми, так и жидкими средами. Основным уравнением, который описывает преобразования изменений массы, присоединенной к поверхности кварцевого пьезорезонатора, в приращение выходной частоты автогенератора (отклик), является уравнение модели Зауэрбрея [5]:

$$\Delta F = -k \cdot \Delta m, \quad (1)$$

где  $\Delta F$  – изменение резонансной частоты, Гц;  $\Delta m$  – изменение массы на электродах резонатора, мкг;  $k$  – константа, которая объединяет характеристики кварца, электродов, условий микровзвешивания.

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

**Цель исследования** – оценить возможность разработки экспрессного способа измерения содержания фактических смол в бензинах, значительно снижающий время и себестоимость анализа по сравнению с существующими решениями.

### Материал и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны пробы бензина с октановым числом 92 (А-92) различных производителей и дат розлива (таблица 1).

Для всех проб измерены отдельные стандартные показатели, связанные с содержанием компонентов нефтяных фракций: качественные характеристики (цвет, наличие воды, механические примеси, водорастворимые кислоты и щелочи), плотность ( $\rho$ , г/см<sup>3</sup>) по API Р 50.2.075-2010 ГСИ, масса нелетучего остатка ( $V_{ост}$ , см<sup>3</sup>) фракционной перегонкой по ГОСТ 2177-99 (ИСО 3405-88) (таблица 1), дана органолептическая оценка.

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).

Для предотвращения растекания неводных проб за границы тензочувствительной области (наибольшая чувствительность по массе), вследствие малого поверхностного натяжения и высокой смачиваемости поверхности, формировали на кварцевой пластине контур вокруг электрода, не захватывая его, толщиной 1–2 мм (рисунок 2). Для этого с помощью капилляра диаметром 1 мм наносили окружность из поливинилацетатного клея. Сушили при температуре 95–100 °С в течение 20 мин.

Объекты исследования и их некоторые стандартные физико-химические показатели

Table 1.

The objects of research and some of their standard physicochemical indicators

| Пробы<br>Samples | Точки отбора проб<br>Sampling points                  | Цвет<br>Colour                | $\rho, \text{г/см}^3 (\text{T}=20 \text{ }^\circ\text{C})$<br>$\text{g/cm}^3$ | $V_{\text{отм}}, \text{см}^3$<br>$\text{cm}^3$ | Соответствие НД<br>Compliance with RD |
|------------------|---|-------------------------------|---|--|---------------------------------------|
| 1                | Пользователь 1<br>User 1                              | Светло-желтый<br>Light yellow | 0.736   | 4.3  | Соответствует НД<br>Corresponds to RD |
| 2                | Подсолнух<br>Sunflower                                |                               | 0.727   | 4.3  |                                       |
| 3                | Пользователь 2<br>User 2                              |                               | 0.728   | 2.2  |                                       |
| 4                | ТНКАЗСЗО Усмань<br>Fuel oil company gas station Usman |                               | 0.736   | 4.3  |                                       |
| 5                | ЛТК Lipetsk Fuel Company                              |                               | 0.732   | 4.3  |                                       |
| 6                | Дашковка<br>Dashkovka                                 |                               | 0.738   | 3.4  |                                       |
| 7                | АЗС № 20, Бобренок<br>Gas station № 20, Bobrenok      |                               | 0.734   | 2.6  |                                       |
| 8                | Татнефть, Серпухов<br>Tatneft, Serpukhov              |                               | 0.753   | 3.0  |                                       |
| 9                | «Газпромнефть», Серпухов<br>«Gazprom Neft», Serpukhov |                               | 0.730   | 8.0  |                                       |

В качестве частотомера использовали одноканальный газоанализатор «САГО». Измеряли частоту пьезорезонатора до и после нагрузки пробой на одноканальном частотомере. Пробу наносили на один электрод пьезорезонатора (одноосная, односторонняя нагрузка).



Рисунок 1. Фото подготовленного к исследованию пьезорезонатора

Figure 1. Photo of the piezoresonator prepared for the study

Подготовка бензина заключалась в отборе средней пробы образца и при необходимости в фильтровании. Фиксировали исходную частоту колебаний резонатора  $F_0$  (МГц) с ограничивающим контуром и закрепляли в переносной держатель.

На верхний электрод, внутрь контура, наносили микрошприцем некоторый объем анализируемой пробы бензина и высушивали каплю пробы в сушильном шкафу в течение 10 мин при температуре  $95 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

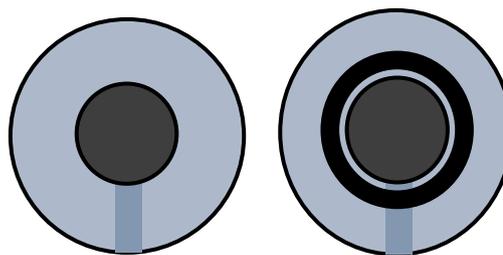


Рисунок 2. Схема формирования контура вокруг электрода пьезорезонатора

Figure 2. Circuit forming circuit around the piezoresonator electrode

Охлаждали резонатор в эксикаторе и устанавливали, держа за ножки, 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  $\Delta F$  (МГц):

$$\Delta F = (F_0 - F_c) \cdot 10^6, \quad (2)$$

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

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

$$m_{\text{т.уацт}} = \frac{\Delta F \cdot S}{2,27 \cdot F_0^2}, \quad (3)$$

где  $S$  – площадь электродов резонатора,  $\text{см}^2$  – как правило  $0,2 \text{ см}^2$ .

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).

Для установления различий компонентов нефтяных фракций проб бензина А-92 использовали молекулярную абсорбционную спектроскопию в средней УФ области относительно гексана [6] на спектрофотометре SHIMADZUU Vmini 1240.

Для нахождения и оценки тесноты связи между результатами различных методов использовали непараметрический метод для малых выборок ранговой корреляцией Спирмена. Ранжировали каждый из элементов признаков (X и Y) в порядке возрастания значений. Если при ранжировании были обнаружены повторяющиеся значения среди элементов признаков X и Y, то ранг повторяющихся значений признаков был рассчитан как среднее арифметическое из их рангов. Для каждого элемента из наборов признаков X и Y рассчитывали  $D_i$  – разность рангов,  $D^2$  – квадрат разности рангов пары соответствующих элементов X и Y и поправки на одинаковые ранги  $A_X$  и  $B_Y$  в наборах признаков X и Y соответственно по формулам:

$$A_X = \frac{n^3 - n}{12}; B_Y = \frac{k^3 - k}{12}, \quad (4)$$

где  $n$  – количество одинаковых рангов в наборе признаков X;  $k$  – количество одинаковых рангов в наборе признаков Y.

Рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена ( $r_{набл}$ ) по формуле [7]:

$$r_{набл} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^m D_i^2 - A_X - B_Y}{\sqrt{(m^3 - m - 12 \cdot A_X) \cdot (m^3 - m - 12 \cdot B_Y)}}, \quad (5)$$

где  $m$  – ранг самого большого элемента последовательности.

Для оценки полученного значения коэффициента Спирмена ( $r_{набл}$ ), сравнивали его с соответствующим критическим значением для заданного уровня значимости из таблицы критических значений коэффициента ранговой корреляции Спирмена ( $r_{крит}$ ). Если  $r_{набл} > r_{крит}$ , то зависимость признаков статистически значима, и наоборот, если  $r_{набл} < r_{крит}$ , то зависимость признаков является статистически не значимой [8].

### Полученные результаты и их обсуждение

Предварительно определены стандартные показатели качества и свойства для проб бензина А-92, связанные с содержанием компонентов нефтяных фракций и других нелетучих соединений (таблица 1). Показатели всех проб, за исключением

пробы 9, соответствуют нормативным требованиям. Для пробы 9 установлено превышающее норму содержание фактических смол.

Пьезокварцевым микровзвешиванием проанализированы пробы бензинов А-92 (таблица 2). По коэффициенту вариации (V) установлено, что полученные результаты однородны, нет грубых промахов, что характеризует стабильность способа. Большая погрешность определения нелетучего остатка определяется ошибкой на стадии нанесения пробы, не весь объем пробы, который отбирается хроматографическим шприцом, наносится на электрод, вследствие способности жидкости подниматься вверх из-за капиллярного явления.

Таблица 2.

Результаты пьезокварцевого микровзвешивания нелетучих соединений в топливах ( $m_{пьеzo}$ , мкг) ( $n = 3, P = 0.95$ )

Table 2.

Results of piezoquartz microweighting of nonvolatile compounds in fuels ( $m_{пьеzo}$ , mkg) ( $n = 3, P = 0.95$ )

| № пробы № samples | $m_{пьеzo}$ , мкг mkg | V    | $\Delta$ , % |
|-------------------|-----------------------|------|--------------|
| 9                 | $0.10 \pm 0.03$       | 0.10 | 30           |
| 3                 | $0.11 \pm 0.02$       | 0.09 | 18           |
| 4                 | $0.13 \pm 0.04$       | 0.15 | 30           |
| 2                 | $0.18 \pm 0.08$       | 0.17 | 44           |
| 7                 | $0.19 \pm 0.07$       | 0.16 | 36           |
| 6                 | $0.20 \pm 0.05$       | 0.10 | 25           |
| 8                 | $0.20 \pm 0.09$       | 0.20 | 45           |
| 1                 | $0.24 \pm 0.11$       | 0.21 | 45           |
| 5                 | $0.29 \pm 0.14$       | 0.17 | 48           |

Для проверки правильности полученных результатов, оценена корреляция их с результатами, полученными методом отгонки (рисунок 3).

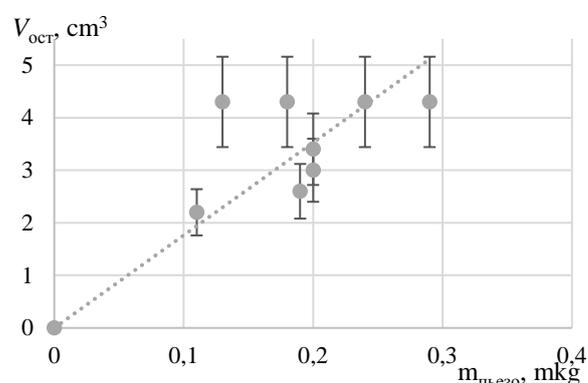


Рисунок 3. Зависимость результатов фракционной перегонки от массы не испаряемого остатка

Figure 3. Dependence of the results of fractional perdistonque on the mass of the non-volatile residue

Низкая корреляция между результатами ( $V_{ост} = 17.63 \cdot m_{твезо}$ ,  $R^2 = 0.58$ ) может быть объяснена особенностями метода определения неиспаряемого остатка. Стандартный метод предполагает поэтапное нагревание пробы бензина до температуры полного испарения жидкой фазы [9]. В зависимости от состава бензина эта температура может изменяться от 120 до 200°С. В разрабатываемом способе пьезокварцевого микровзвешивания испарение проводится при температуре не более 100°С. То есть различие результатов, полученных двумя методами объясняется разным фракционным составом испаряемых соединений и соответственно остатка.

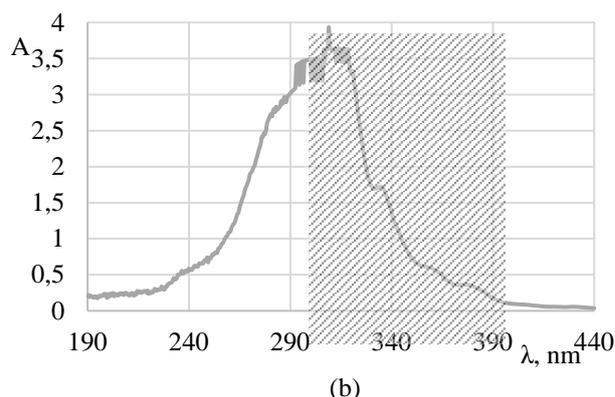
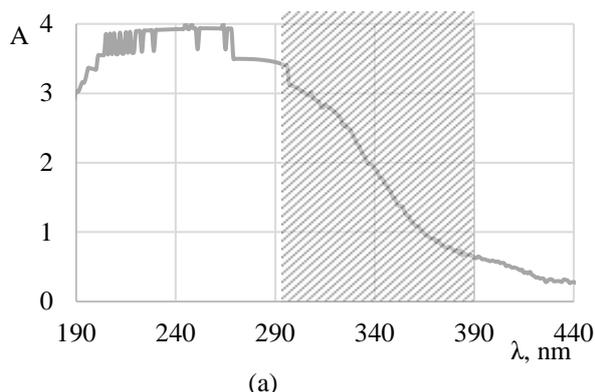


Рисунок 4. Спектры поглощения проб:(a) – проба 1, (b) – проба 2

Figure 4. Absorption spectra of samples:(a) – sample 1, (b) – sample 2

В идентичных условиях получены спектры для всех образцов бензинов А-92. Все спектры проб, за исключением пробы 1, идентичны и характеризуются максимумом светопоглощения в диапазоне 290–320 нм. Идентичность спектров в этой области говорит о близком составе смеси основных компонентов бензинов. При этом, в пробе 1 широкая полоса поглощения соответствует более короткому диапазону длин волн от 200 до 290 нм. Это говорит о том, что в этой пробе больше насыщенных углеводородов. При этом в этой пробе присутствуют и много других соединений, в том числе ненасыщенных углеводородов. То есть проба 1 отличается от других бензинов по фракционному составу.

Особенностью спектров проб 2–8 является наличие менее выраженных пиков в диапазоне 318–380 нм (рисунок 4).

Для сопоставления и установления степени идентичности спектров и состава для проб бензина по нескольким характерным точкам применен принцип сравнения «отпечатков пальцев». Для этого выделен участок спектра, соответствующий диапазону длин волн, при которых поглощают компоненты фактических смол. К таким компонентам относятся ароматические, непредельные углеводороды и легко окисляемые органические вещества [10], которые поглощают в диапазоне длин волн ( $\lambda$ ) 300–400 нм.

Для установления различий исходного состава проб бензина А-92 использовали молекулярную абсорбционную спектроскопию относительно гексана (рисунок 4). Для идентификации компонентов нефтяных фракций используют спектры поглощения в средней УФ-области (190–400 нм) [6]. Благодаря высокой чувствительности УФ-спектроскопия находит применение для определения следов аренов и непредельных углеводородов. Каждая структурная группа характеризуется своим набором полос поглощения. Их положение и число зависит от состава основной части молекул.

Для этой области выделили длины волн экстремумов  $\lambda_{экстр}$ , для которых выбраны величины оптических плотностей ( $A$ ).

Для сравнения постоянства качества состава фактических смол в исследуемых бензинах было рассчитано отношение  $A$  для длин волн коротковолновой и длинноволновой областях в виде диаграмм ( $k$ )(таблица 3, рисунок 5).

При постоянстве состава сложных смесей наборы отношений оптических плотностей при двух характеристических длинах волн для сравниваемых растворов постоянно:

$$\dot{A}_1, \lambda_1 / \dot{A}_1, \lambda_2 = \varepsilon_1 / \varepsilon_2 = const = k.$$

Таблица 3.

Характеристики спектров для различных проб бензина

Table 3. Spectral characteristics for various gasoline samples

| Проба<br>Sample | A при $\lambda_{экстр} A$ at $\lambda_{экстр}$ |           |           |           |
|-----------------|--|-----------|-----------|-----------|
|                 | $A_{318}$                                      | $A_{330}$ | $A_{336}$ | $A_{380}$ |
| 1               | 4,00   | 3,90      | 3,87      | 1,38      |
| 2               | 3,63   | 1,73      | 1,69      | 0,34      |
| 3               | 3,63   | 2,57      | 2,55      | 0,51      |
| 4               | 3,93   | 3,42      | 3,27      | 0,62      |
| 5               | 3,93   | 3,20      | 2,91      | 0,64      |
| 6               | 4,00   | 2,42      | 2,20      | 0,62      |
| 7               | 3,23   | 0,99      | 0,84      | 0,20      |
| 8               | 4,00   | 3,12      | 2,66      | 0,92      |
| 9               | 3,93   | 2,04      | 1,85      | 0,54      |

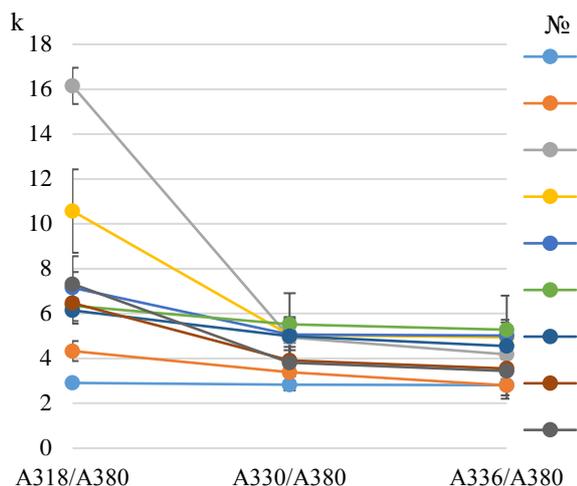


Рисунок 5. Спектры параметров  $k$  для различных проб бензина

Figure 5. Spectra of parameters  $k$  for various gasoline samples

Представлением  $k$  в виде спектров установлено, что наиболее сильно по качественному составу отличаются пробы 7 и 1. При этом в пробе 1 отмечается наиболее равномерный состав фракций, т. к. поглощение при длинах волн компонентов, входящих в состав фактических смол практически постоянно. Наиболее не равномерная фракция в пробах 7 и 2.

Для нахождения и оценки тесноты связи между результатами различных методов был использован непараметрический метод для малых выборок ранговой корреляции Спирмена [7]. В качестве рангов выбраны стандартные изменения показателей плотности ( $\rho$ ), не испаряемого остатка ( $V_{ост}$ ), пьезокварцевого микровзвешивания ( $m_{пьеzo}$ ), оптическая плотность пика, присутствующего во всех пробах бензина, при характеристической длине волны 380 нм ( $A_{380}$ ) (таблица 4).

Таблица 4.

Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена для исследуемых бензинов

Table 4.

Spearman's rank correlation coefficients for the investigated gasolines

|           |  |                                |                                |                                |                                |
|-----------|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0,70–1,00 | Сильная теснота связи<br>Strong tightness of communication | $r_{набл}(A_{380}, m_{пьеzo})$ |                                |                                |                                |
|           |  | 0,72                           |                                |                                |                                |
| 0,30–0,69 | Средняя теснота связи<br>Medium tightness of communication | $r_{набл}(A_{380}, \rho)$      |                                |                                |                                |
|           |  | 0,64                           |                                |                                |                                |
| 0–0,29    | Слабая теснота связи<br>Weak tightness of communication    | $r_{набл}(V_{ост}, m_{пьеzo})$ | $r_{набл}(V_{ост}, m_{пьеzo})$ | $r_{набл}(V_{ост}, m_{пьеzo})$ | $r_{набл}(V_{ост}, m_{пьеzo})$ |
|           |  | 0                              | 0                              | 0                              | 0                              |

Установлено, что значения коэффициентов корреляции рангов Спирмена ( $r$ ) для результатов пьезокварцевого микровзвешивания и  $A_{380}$  имеют сильную тесноту связи. Положительное значение коэффициента свидетельствует о наличии прямой связи между признаками и позволяет утверждать, что, чем меньше  $A_{380}$ , тем меньше результаты пьезокварцевого микровзвешивания ( $m$ ), не испаряемого при  $95 \pm 2$  °C остатка бензина.

Критическое значение ( $r_{крит}$ ) коэффициента Спирмена при данном числе степеней свободы ( $n=9$ ) составляет 0,68 [8];  $r_{набл} > r_{крит}$ , т. е. зависимость признаков является статистически значимой.

Коэффициенты Спирмена показывают, что из всех примененных методов анализа бензинов, наиболее коррелируют между собой спектрофотометрия и пьезокварцевое микровзвешивание. Отсутствие корреляции стандартного

метода ( $V_{ост}$ ) и пьезокварцевого микровзвешивания (0) может быть объяснено особенностями метода определения неиспаряемого остатка. Следовательно, наиболее объективным методом отражения состава и его постоянстве является спектрофотометрия.

**Выводы**

Положительно оценена возможность применения метода пьезокварцевого микровзвешивания для разработки экспрессного способа оценки нелетучего остатка бензинов. В отличие от спектроскопии достоинство предложенного метода заключается в миниатюрности оборудования и минимальном объеме пробы для анализа.

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

**ЛИТЕРАТУРА**

1 ТР ТС 013/2011. О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту. М., 2011.  
2 Гуреев А.А. Автомобильные бензины. Свойства и применение. 1996.

3 ГОСТ 1567–97 (ИСО 6246–95). Нефтепродукты. Бензины автомобильные и топлива авиационные. Метод определения смол выпариванием струей. Введен 01.07.1999. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.  
4 ГОСТ 8489–58. Топливо моторное. Метод определения фактических смол (по Бударову). Введен 01.07.1986. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

5 Кучменко Т.А. Химические сенсоры на основе пьезокварцевых микровесов // Проблемы аналитической химии. 2011. Т. 14. С. 127–203.

6 Ультрафиолетовая и инфракрасная спектроскопия нефтяных фракций. URL: [http://studopedia.ru/15\\_6293\\_bumazhnaya-hromatografiya-smolistih-veshchestv-i-asfaltenov.html](http://studopedia.ru/15_6293_bumazhnaya-hromatografiya-smolistih-veshchestv-i-asfaltenov.html).

7 Коэффициент ранговой корреляции Спирмена. URL: [http://edu.alnam.ru/book\\_mkor.php?id=41](http://edu.alnam.ru/book_mkor.php?id=41).

8 Задачи оптимизации. URL: [http://www.uchimatchast.ru/teory/spirman\\_primer.php](http://www.uchimatchast.ru/teory/spirman_primer.php).

9 Определение фракционного состава топлива. URL: [http://studopedia.ru/14\\_73816\\_opredelenie-fraktsionnogo-sostava-benzinov.html](http://studopedia.ru/14_73816_opredelenie-fraktsionnogo-sostava-benzinov.html).

10 О бензине. URL: <http://www.aviajournal.com/arhiv/2004/05/02.html>.

#### REFERENCES

1 TR TS 013/2011. O trebovaniyakh k avtomobil'nomu i aviatsionnomu benzinu, dizel'nomu i sudovomu toplivu, toplivu dlya reaktivnykh dvigateley i mazutu [Technical regulations of the Customs Union 013/2011. On the requirements for automobile and aviation gasoline, diesel and marine fuel, jet fuel and fuel oil.]. Moscow, 2011. (in Russian)

2 Gureev A.A. Avtomobil'nye benziny. Svoystva i primeneniye [Automobile gasolines. Properties and application.]. 1996. (in Russian)

3 GOST 1567–97 (ISO 6246–95). Nefteprodukty.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Татьяна А. Кучменко** д.х.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [tak1907@mail.ru](mailto:tak1907@mail.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@yandex.ru](mailto:i.griboedova@yandex.ru)

**Дарья А. Порядина** к.х.н., преподаватель кафедры, Военная академия Ракетных Войск Стратегического Назначения имени Петра Великого, ул. Бригадная, 17, г. Серпухов, 142210, Россия, [sibilda1@yandex.ru](mailto:sibilda1@yandex.ru)

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Татьяна А. Кучменко** предложила методику проведения эксперимента

**Ирина А. Грибоедова** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Дарья А. Порядина** консультация в ходе исследования

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 01.09.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ .2017

Benziny avtomobil'nye i topliva aviatsionnye. Metod opredeleniya smol vyparivaniem struey [State Standard 1567–97 (International organization for standardization 6246–95). Petroleum products. Automobile gasoline and aviation fuel. Method for the determination of tar by evaporation by a jet]. Moscow, Standartinform Publ, 1999. (in Russian)

4 GOST 8489–58. Topливо motornoe. Metod opredeleniya fakticheskikh smol (po Budarovu). [State Standard 8489–58. Fuel motor. Method for determining actual pitches (according to Budarov)]. Moscow, Standartinform Publ, 2001. (in Russian)

5 Kuchmenko T.A. Khimicheskie sensory na osnove p'yezokvartsevykh mikrovesov. *Problemy analiticheskoy khimii*. [Problems of Analytical Chemistry]. 2011. vol. 14. 127–203 p. (in Russian)

6 Ul'trafiioletovaya i infrokrasnaya spektroskopiya neftyanykh fraktsiy [Ultraviolet and infrared spectroscopy of petroleum fractions]. Available at: [http://studopedia.ru/15\\_6293\\_bumazhnaya-hromatografiya-smolistih-veshchestv-i-asfaltenov.html](http://studopedia.ru/15_6293_bumazhnaya-hromatografiya-smolistih-veshchestv-i-asfaltenov.html).

7 Koeffitsient rangovoy korrelyatsii Spirmena [Coefficient of rank correlation of Spearman]. Available at: [http://edu.alnam.ru/book\\_mkor.php?id=41](http://edu.alnam.ru/book_mkor.php?id=41)

8 Zadachi optimizatsii [Optimization tasks] Available at: [http://www.uchimatchast.ru/teory/spirman\\_primer.php](http://www.uchimatchast.ru/teory/spirman_primer.php)

9 Opredelenie fraktsionnogo sostava topliva [Determination of fractional composition of fuel]. Available at: [http://studopedia.ru/14\\_73816\\_opredelenie-fraktsionnogo-sostava-benzinov.html](http://studopedia.ru/14_73816_opredelenie-fraktsionnogo-sostava-benzinov.html).

10 O benzine [About gasoline]. Available at: <http://www.aviajournal.com/arhiv/2004/05/02.html>

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Tat'yana A. Kuchmenko** doctor of chemical sciences, professor, head of department, physical and analytical chemistry department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [tak1907@mail.ru](mailto:tak1907@mail.ru)

**Irina A. Griboedova** student, physical and analytical chemistry department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [i.griboedova@yandex.ru](mailto:i.griboedova@yandex.ru)

**Dar'ya A. Poryadina** candidate of chemical sciences, lecturer of the department, Military Academy of the strategic missile forces named after Peter the Great, Brigadnaya st., 17, Serpukhov, 142210, Russia, [sibilda1@yandex.ru](mailto:sibilda1@yandex.ru)

#### CONTRIBUTION

**Tat'yana A. Kuchmenko** proposed a scheme of the experiment

**Irina A. Griboedova** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Dar'ya A. Poryadina** consultation during the study

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.9.2017

ACCEPTED 2017