

## ОБ ЭКСПРЕСС-МЕТОДЕ И ПЕРЕНОСНОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ КОМПЛЕКСЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФАСОВАННЫХ ПИВНЫХ ПРОДУКТОВ

Кречетов А.Л., Белозеров В.В.

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону,  
e-mail: ko4kanto4ka@yandex.ru*

Большинство производителей, как промышленных жидких продуктов, так и продуктово-бытовых жидкостей практикуют защиту своей продукции от подделки применением фирменной тары, пломбированием горлышек фасовочной тары (бутылок, канистр и т.д.). Тару и пробки видоизменяют, вводят разрушаемые фиксаторы и голографические наклейки и т.д. Однако, несмотря на все ухищрения, объемы контрафактной продукции не уменьшаются (по результатам проверки Роспотребнадзора за январь – декабрь 2017 года было выявлено, что пятая часть всей алкогольной продукции, находящейся в продаже на тот период, являлась контрафактной). Представлены результаты системного анализа проблем контроля качества фасованных пивных продуктов и обнаружения контрафакта, на основе которых осуществлена адаптация метода весовой импедансной спектроскопии пива, а также предложена модель переносного автоматизированного комплекса экспресс-анализа фасованных пивных продуктов, защищенных от подделки. Метод ВИС, в части определения плотности пива, использует эталонные массы пустой тары и крышки, благодаря чему взвешиванием на электронных весах, не вскрывая их и без отбора пробы, определяется плотность жидкостей в них. Для реализации предлагаемого метода автоматизированного контроля пива был изготовлен 3-х электродный коаксиальный датчик-крышка.

**Ключевые слова:** фасованные пивные продукты, качество, контроль, экспресс-анализ, контрафактная продукция, защита от подделки, автоматизированный комплекс.

## ABOUT THE EXPRESS METHOD AND THE PORTABLE AUTOMATED SYSTEM OF IDENTIFICATION AND QUALITY CONTROL OF THE PACKED-UP BEER PRODUCTS

Krechetov A.L., Belozеров V.V.

*Don state technical university, Rostov-on-Don, e-mail: ko4kanto4ka@yandex.ru*

Most manufacturers, such as industrial liquid products, grocery, household liquids practice protect their products from counterfeiting using a proprietary container, by filling the openings of the filling containers (bottles, cans, etc.). Container and tube alter, introduce the clips and destructible holographic labels, etc. However, despite all the tricks, the volume of counterfeit products does not decrease (according to the results of the inspection of Rosпотребнадзор for January – December 2017, it was revealed that a fifth of all alcoholic beverages on sale at that time were counterfeit). Results of the system analysis of problems of quality control of the packed-up beer products and detection of a counterfeit on the basis of which adaptation of a method of weight impedance spectroscopy of beer is carried out are presented and also the model of the portable automated system of the express analysis of the packed-up beer products protected from a fake is offered. Method WIS, in the part of determining the density of beer, uses the reference weight of the empty container and cover, thereby weighing on the electronic scales, without opening them and without sampling, is determined by the density of the liquids in them. To implement the proposed method of automated control of beer was made 3-electrode coaxial sensor-cover.

**Keywords:** the packed-up beer products, quality, control, the express analysis, counterfeit products, protection against a fake, the automated complex

И промышленные (топлива, масла, охлаждающие жидкости и т.д.), и продуктово-бытовые жидкости (алкогольные и безалкогольные напитки, растительные масла, моющие и косметические средства и т.д.), помимо определения химических составов, идентифицируются по многим физико-химическим параметрам, например, – по кинематической и динамической вязкости, по плотности и предельно-допустимым концентрациям, по температурам замерзания и вспышки/самовоспламенения, по щелочным или кислотным числам и токсичности, по сроку сохранения и стабильности, по гигроскопичности и растворяемости, по цвету, прозрачности и помутнению и др.[1].

Большинство производителей, как ПЖП, так и ПБЖ практикуют защиту своей

продукции от подделки применением фирменной тары, пломбированием горлышек фасовочной тары (бутылок, канистр и т.д.). Тару и пробки видоизменяют, вводят разрушаемые фиксаторы и голографические наклейки и т.д. Однако, несмотря на все ухищрения, объемы контрафактной продукции не уменьшаются [1,2].

Так например, по результатам проверки Роспотребнадзора за январь – декабрь 2017 года было выявлено, что пятая часть всей алкогольной продукции, находящейся в продаже на тот период, являлась контрафактной. Количество алкогольной продукции, которое было изъято и уничтожено, составило около 350000 шт. [3].

Существенным при этом является тот факт, что сертификация и экспертиза ПЖП

и ПБЖ (на соответствие действующим техническим регламентам и стандартам) являются длительными и трудоемкими процессами, и они невозможны без вскрытия тары.

Именно поэтому, с точки зрения кардинального решения «проблемы некачественной и контрафактной продукции», актуальным является разработка модели переносного автоматизированного комплекса, на основе адаптации метода весовой импедансной спектроскопии (ВИС) к ПЖП и ПБЖ, применение которого позволяет реализовать «экспресс-контроль» любых фасованных жидких промышленных, пищевых и бытовых продуктов без вскрытия тары, чем защитит продавца и потребителя от подделки [4].

Метод ВИС базируется и адаптируется с помощью нескольких Российских патентов:

- на способе экспрессного определения кинематической вязкости авиационных керосинов и дизельных топлив – Патент РФ № 2263301 от 27.10.2005, в котором по эмпирической формуле через плотность определяется кинематическая вязкость [5], на устройстве диагностики состояния нефти и продуктов нефтепереработки по их активной электропроводности и диэлектрической проницаемости» – патент РФ № 2209422 от 27.07.2003, которое содержит перестраиваемый генератор электромагнитных колебаний в диапазоне 1 кГц – 1 МГц, воздействующих на сенсор с диагностируемым продуктом и измерителем температуры, определяя диэлектрические проницаемости и активные электропроводности с их отношениями на крайних частотах, по которым вычисляется удельная теплота сгорания и характеристическая частота [6],

- на способе определения массовой доли воды в нефти и продуктах остаточной дистилляции по измерению диэлектрической проницаемости на различных частотах – патент РФ № 2192001 от 27.10.2002, который реализуется с помощью измерителей иммитанса, путем регистрации емкостей датчика на частоте 1 кГц и на частоте 1 МГц (в воздухе – С01кГц и С01МГц, а затем в нефти – СН1кГц и СН1МГц), после чего вычисляются их относительные разности, характеризующие приращение диэлектрической проницаемости ( $\Delta\epsilon$ ), а затем определяют массовую долю воды в данной нефти в процентах по эмпирической формуле [7].

В тоже время уже более 15 лет ведущие мировые компании используют технологии FTIR в аналитических инструментах для жидких пищевых продуктов и напитков. Так в Анализаторе ВинСкан ФТ-120 данные инфракрасного спектра обрабатываются на интерферометре, использующим преобразование Фурье, что позволяет анализи-

ровать широкий ряд параметров: этанол, метанол, рН, летучие кислоты, общую кислотность (винную, яблочную, молочную, искусственную кислоты), восстанавливающие сахара, глюкозу, фруктозу, плотность, общее полифенольное число, глицерин, концентрацию углекислого газа, этилацетат, минеральный остаток, сульфаты и т.д. [8].

Прибор LQtest 2.8, использующий метод электромагнитного зондирования, предназначен для проверки содержимого различных сосудов без их вскрытия, таких как пластиковые и стеклянные бутылки, картонные пакеты и др. неметаллические емкости [9].

Однако ни инфракрасные, ни электромагнитные, ни другие бесконтактные методы и средства, обеспечивая идентификацию жидких продуктов, не могут обеспечить определение их количества и качества, а также защиту от подделки.

Метод ВИС, в части определения плотности пива, использует эталонные массы пустой тары и крышки, благодаря чему взвешиванием на электронных весах, не вскрывая их и без отбора пробы, определяется плотность жидкостей в них по формуле:

$$\rho_i = (m_i - m_j) / V_{ij}, \quad (1)$$

где  $m_i$  – измеренный вес  $i$ -го образца в фасованной таре;  $m_j$  – вес  $j$ -й эталонной тары;  $V_{ij} = 1$  л, 2 л... $N$  л – эталонный объем  $i$ -й жидкости, заливаемой в  $j$  – объем тары.

Изменение плотности от температуры учитывается по формуле Менделеева:

$$\rho_T = \frac{\rho_{293}}{1 + \beta_p (T - 293)}$$

$$\text{или } \rho(t) = \rho_{20^\circ\text{C}} - \Delta t(t - 20^\circ\text{C}), \quad (2)$$

где  $\rho_T$  и  $\rho_{293}$  – плотность жидкого продукта соответственно при температурах  $T$  и  $293^\circ\text{K}$ ;  $\beta_p$  – коэффициент объемного расширения;  $\Delta t = (18,310 - 13,233\rho_{20^\circ\text{C}}) \cdot 10^{-4}$  – температурная поправка к плотности на один градус;  $t$  – искомая температура,  $^\circ\text{C}$ ,

Дело в том, что, например, стандарт на полимерную тару [10] требует устанавливать в нормативных документах на тару для конкретных видов продукции значения и предельные отклонения от номинальных размеров и массы тары, которые не должны превышать (приложение К):

0,1 мм. – для геометрических размеров (п.9.2.1);

0,05 мм. – для толщины стенки (п.9.3.1);

10% – для номинальной вместимости (п.9.4.1);

10% – для массы тары (п.9.5.1).

Поэтому тара может иметь следующий разброс по массе для объема 1 литр – масса 0,07 кг – точность 7,0 г.

Таким образом, для объема 1 литр можно вычислить плотность пива со следующей точностью –

$$\Delta \% = 100[(1020+2,87+7,0)/1000 - (1020-2,87-7,0)/1000]/1,02 = (0,01974/1,020)100 = 0,01935 \cdot 100 = 1,9\%$$

Как следует из метода ВИС [1,4], в т.ч. с предлагаемой адаптацией [9], измерения с помощью датчика емкостей ( $C_o$  – в воздухе и Сизм – с жидким продуктом) и тангенсов угла потерь ( $\text{tg}\delta$ ), позволяют вычислить значение относительной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) жидкого продукта, и, используя табличные данные воздуха (табл. 1) в качестве эталона ( $\tau_o, \eta_o$ ), – определить динамическую вязкость образца жидкого продукта ( $\eta_o$ ), через вычисление его микроскопического ( $\tau_o$ ) и макроскопического времени релаксации ( $\tau$ ):

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon = \frac{C_{\text{изм}}}{C_o} \\ \eta_o = \frac{\tau_o \eta_o}{\tau_o} \\ \tau = \frac{3\epsilon}{2\epsilon+1} \tau_o \\ \text{tg}\delta = \frac{(\epsilon - \epsilon_\infty) \cdot \omega \tau}{\epsilon + \epsilon_\infty \omega^2 \tau^2} \end{array} \right. \quad (3)$$

где  $C_o$  – емкость датчика в воздухе, пФ;  $C_{\text{изм}}$  – емкость датчика с жидким продуктом, пФ.

Применение измерителя иммитанса Е7–25, который под управлением компьютера может за десяток секунд осуществить измерение и вычисление указанных параметров в диапазоне 1 кГц – 1 МГц, позволяет получить не только спектры  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$ , но и спектры активных электропроводностей, по которым вычисляются следующие параметры [11]:

– удельная теплота сгорания ( $Q_i$ ) и характеристическая частота ( $f_i$ ) жидкого продукта,

– содержание влаги (%).

Принимая во внимание, что измерения проводятся на определенных частотах (в диапазоне работы измерителя иммитанса), а значение  $\epsilon_\infty \rightarrow 1$  при высоких температурах (например, при парообразовании), получим:

$$\text{tg}\delta \cdot (\epsilon + \omega^2 \tau^2) = (\epsilon - 1) \cdot \omega \tau$$

$$\text{или } \text{tg}\delta \cdot \omega^2 \tau^2 - (\epsilon - 1) \omega \tau + \text{tg}\delta \cdot \epsilon = 0 \quad (4)$$

Заменяя  $\omega$  на  $2\pi f$  и разделив каждый член уравнения на множитель при  $\tau^2$ , получим:

$$\tau^2 - \tau = \frac{(\epsilon - 1)}{2\pi f \text{tg}\delta} + \frac{\epsilon}{4\pi^2 f^2} \quad (5)$$

Подставляя частоты измерений и измеренные значения  $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon$  образцов, найдем макроскопические времена релаксации ( $\tau$ ) исследуемых образцов жидких продуктов при температуре окружающей среды:

Параметры воздуха, загружаемые в компьютер для вычислений

t, °C	$\eta \cdot 10^6$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	t, °C	$\eta \cdot 10^6$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	t, °C	$\eta \cdot 10^6$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с
-50	14,6	9,23	70	20,6	20,02	350	31,4	55,46
-45	14,9	9,64	80	21,1	21,09	400	33	63,09
-40	15,2	10,04	90	21,5	22,1	450	34,6	69,28
-35	15,5	10,42	100	21,9	23,13	500	36,2	79,38
-30	15,7	10,8	110	22,4	24,3	550	37,7	88,14
-25	16	11,21	120	22,8	25,45	600	39,1	96,89
-20	16,2	11,61	130	23,3	26,63	650	40,5	106,15
-15	16,5	12,02	140	23,7	27,8	700	41,8	115,4
-10	16,7	12,43	150	24,1	28,95	750	43,1	125,1
-5	17	12,86	160	24,5	30,09	800	44,3	134,8
0	17,2	13,28	170	24,9	31,29	850	45,5	145
10	17,6	14,16	180	25,3	32,49	900	46,7	155,1
15	17,9	14,61	190	25,7	33,67	950	47,9	166,1
20	18,1	15,06	200	26	34,85	1000	49	177,1
30	18,6	16	225	26,7	37,73	1050	50,1	188,2
40	19,1	16,96	250	27,4	40,61	1100	51,2	199,3
50	19,6	17,95	300	29,7	48,33	1150	52,4	216,5
60	20,1	18,97	325	30,6	51,9	1200	53,5	233,7

$$\tau_{1,2} = \frac{(\varepsilon - 1)}{4\pi f \operatorname{tg} \delta} \pm \sqrt{\frac{(\varepsilon - 1)^2}{16 \cdot f^2 \pi^2 \operatorname{tg}^2 \delta} - \frac{\varepsilon}{4\pi^2 f^2}} \quad (6)$$

После этого по третьему уравнению системы (3) определяется молекулярное время ( $\tau_0$ ) образца, а по второму – его динамическая вязкость ( $\eta_0$ ).

Для сравнения полученных результатов с эталонными значениями воздуха (таб.1) при трех общепринятых стандартных температурах жидких и вязких сред (15°C, 40°C, 100°C) и одной отрицательной – застывания, используется ограничение значения потерь при 100°C ( $\operatorname{tg} \delta \leq 0,02$ ) и формулы температурной зависимости  $\operatorname{tg} \delta$  и  $\varepsilon$  [1,4]:

$$\operatorname{tg} \delta (T) = \operatorname{tg} \delta_{20} \exp[k \cdot (T - 20^\circ\text{C})] \quad (7)$$

$$TKE_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon} \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{(T_2 - T_1)} \cdot \frac{1}{\rho} \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{(T_2 - T_1)}, 1/\text{град.}, (8)$$

а также формулы Вальтера, выражающие зависимости кинематической вязкости от температуры:

$$\lg \lg(v + 0,8) = a + b \lg T, \quad (9)$$

где эмпирические коэффициенты  $a$  и  $b$  определяются по известным парам значений  $v$  и  $T$ , по следующим формулам:

$$a = \lg \lg(v_1 + 0,8) - b \lg T_1,$$

$$b = \frac{\lg[\lg(v_1 + 0,8) / \lg(v_2 + 0,8)]}{\lg \frac{T_1}{T_2}}. \quad (10)$$

Аналогично, для идентификации жидких и вязких продуктов по температуре застывания, использованы формулы Вальтера, при значении кинематической вязкости 10000 мм<sup>2</sup>/с:

$$\lg \lg(10000 + 0,8) = a_i - b_i \lg T_i \rightarrow T_i = 10^{\left[ \frac{\lg(10000 + 0,8) - a_i}{b_i} \right]} \quad (11)$$

где 10000 – кинематическая вязкость при температуре застывания  $T_p$ , °K;  $a_i$  и  $b_i$  – константы для  $i$ -го жидкого продукта.

Для реализации предлагаемого метода автоматизированного контроля пива был изготовлен 3-электродный коаксиальный датчик-крышка (рис. 1).

Высота всех медных трубок и стержня датчика – 20 мм. Диаметр внешней трубки 20 мм, а внутренней – 13 мм. с толщиной стенок 0,5 мм., диаметр стержня – 6 мм. То есть зазор между внешней трубкой и внутренней (для измеряемой жидкости) – 6 мм.

(рис. 1), а зазор между внутренней трубкой и стержнем (также для измеряемой жидкости) – 6 мм.

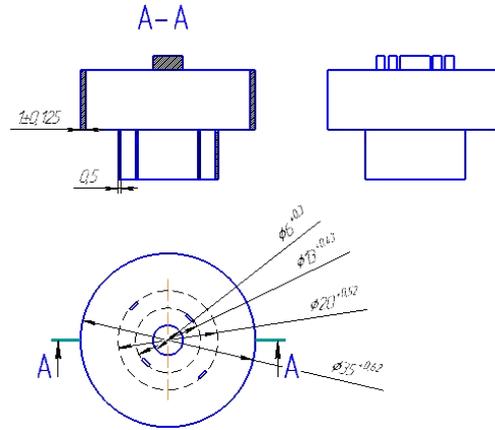


Рис. 1. Емкостный 3-электродный коаксиальный датчик-крышка

Емкость трубчатого (коаксиального) датчика (рис. 1) определяется по формуле:

$$C_K = \frac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot (l + b)}{\ln \frac{D_2}{D_1}} = \frac{55,6 \cdot \varepsilon \cdot (l + b)}{2h} \quad (12)$$

Откуда следует, что емкость наружной секции датчика (на воздухе и без охранного кольца) должна составить:

$$C_{\text{дн}} = 6,28 \cdot 1,005 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \times \\ \times 0,02 / \ln(0,019/0,013) = 2,94374\text{E-}12 \text{ Ф} \\ \text{или } 2,94 \text{ пФ},$$

а емкость внутренней секции датчика (между внутренней трубкой и стержнем

$$C_{\text{дв}} = 6,28 \cdot 1,005 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,013 / \\ \ln(0,012/0,006) = 0,04758\text{E-}12 \text{ Ф} \\ \text{или } 1,05 \text{ пФ}.$$

При параллельном соединении секций получается – 3,99 пФ, а при последовательном –  $2,94 \cdot 1,05 / (2,94 + 1,05) = 0,77$  пФ.

Измерениями на различных частотах зарегистрированы следующие значения:

$$1000 \text{ Гц} \quad - C_{\text{дн}} = 2,71 \text{ и } C_{\text{дв}} = 1,07 \text{ пФ}; \\ 10000 \text{ Гц} \quad - C_{\text{дн}} = 2,94 \text{ и } C_{\text{дв}} = 1,12 \text{ пФ}; \\ 100000 \text{ Гц} \quad - C_{\text{дн}} = 2,99 \text{ и } C_{\text{дв}} = 1,17 \text{ пФ}; \\ 100000 \text{ Гц} \quad - C_{\text{дн}} = 2,68 \text{ и } C_{\text{дв}} = 0,99 \text{ пФ};$$

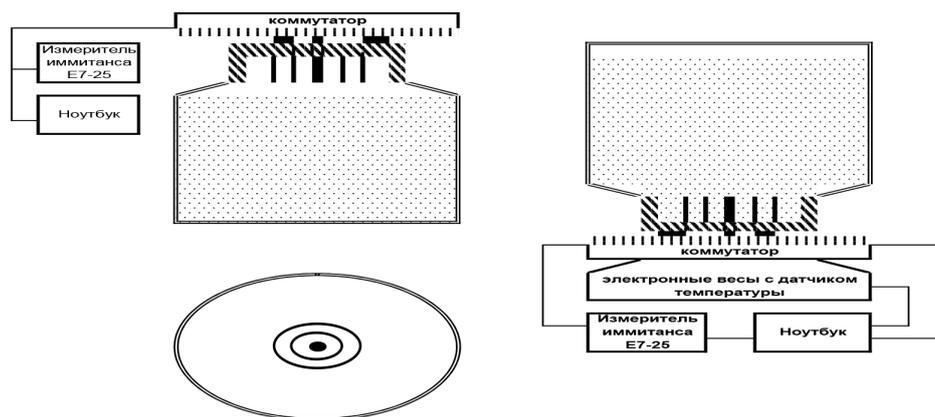


Рис. 2. Блок-схемы модели системы и ПАК

При калибровке в криобензоле были получены следующие значения:  $C_{\text{дн}} = 8,82$  пФ, а  $C_{\text{дв}} = 3,15$  пФ.

Краевая емкость электродов составит:

$$C_{\text{одн}} = (8,82 - 2,71)/(2,9 - 1,0) = 3,22 \text{ пФ};$$

$$C_{\text{одв}} = (3,15 - 1,07)/(2,9 - 1,0) = 1,09 \text{ пФ}.$$

Следовательно, результирующая формула расчета относительной диэлектрической проницаемости масла «внешним и внутренним» датчиками:

$$\varepsilon = (C_{\text{изм}_{\text{дн}}} - 2,71)/3,22 + 1;$$

$$\varepsilon = (C_{\text{изм}_{\text{дв}}} - 1,07)/1,09 + 1.$$

Таким образом, модель системы автоматизированного контроля пива можно представить (рис. 2), как совокупность следующих подсистем [4]:

– подсистемы потребителя (реализатора) пива (магазины, ларьки и т.д.), состоящей из переносного автоматизированного комплекса (ПАК) с соответствующим программным обеспечением, включающего в себя: ноутбук, измеритель иммитанса и электронные весы с контактной площадкой под различные крышки тары (со встроенными коаксиальными датчиками с выводами наружу), в которые фасуется пиво;

– подсистемы производителя пива, который для защиты своей продукции от подделки, разработал и применил крышку со встроенным в неё емкостным датчиком с выводами наружу, и, например, на своем сайте в Интернете размещает «электронные сертификаты» – «образы эталонов» выпускаемого пива, которые «скачиваются» в ПАК;

– подсистемы муниципального надзора за качеством пива, которая реализуется с помощью ПАК сотрудниками соответствующих государственных и общественных структур.

### Список литературы

1. Белозеров В.В., Батшев А.С., Любавский А.Ю. Об автоматизации идентификации жидких фасованных продуктов // Электроника и электротехника. – 2016. – № 1. – С.135–145. DOI: 10.7256/2453–8884.2016.1.20924.
2. Белозеров В.В., Босый С.И., Прус Ю.В., Удовиченко Ю.И., Белозеров В.В. Разработка методики сравнительного анализа вязких жидкостей (на примере моторного масла): отчет о НИР № 2015-хД/1 от 30.01.2015 (ООО «ПОЛИЭКСПЕРТ») – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24495039> (дата обращения 04.01.2019).
3. Сведения о результатах проверок по выявлению незаконного производства и оборота этилового спирта и алкогольной продукции – М.: Роспотребнадзор, 2017. – URL: [http://fsrar.ru/activities/rezultaty-proverok/rezultaty-proverok\\_za\\_2017\\_god](http://fsrar.ru/activities/rezultaty-proverok/rezultaty-proverok_za_2017_god) (дата обращения 04.01.2019).
4. Белозеров В.В. Метод экспресс-анализа жидких фасованных продуктов // Электроника и электротехника. – 2018. – № 2. – С.1–31. DOI: 10.7256/2453–8884.2018.2.25998. – URL: [http://e-notabene.ru/elektronika/article\\_25998.html](http://e-notabene.ru/elektronika/article_25998.html) (дата обращения 04.01.2019).
5. Зрелов В.Н., Алаторцев Е.И., Шаталов К.В., Зрелова Л.В., Бордюговская Л.Н. Способ экспрессного определения кинематической вязкости авиационных керосинов и дизельных топлив – Патент РФ на изобретение № 2263301 от 27.10.2005.
6. Богачев И.М., Богачева Н.А., Вылегжанин В.В., Иголкин Б.И., Карташов Ю.И., Петкау О.Г., Усиков С.В., Чернова Л.И. Устройство диагностики состояния нефтей и продуктов нефтепереработки по их активной электропроводности и диэлектрической проницаемости – патент на изобретение РФ № 2209422 от 27.07.2003.
7. Бабенко В.А., Васильева Л.К., Иванова З.Д., Иголкин Б.И., Карташов Ю.И., Кирьянов В.И., Усиков А.С., Усиков С.В. Способ определения массовой доли воды в нефтях и продуктах остаточной дистилляции по измерению диэлектрической проницаемости на различных частотах – патент на изобретение РФ № 2192001 от 27.10.2002.
8. Анализатор ВинСкан ФТ 120 (FOSS Electric, Дания) – URL: <http://www.laborant.net/catalog.aspx/00008812> (дата обращения 04.01.2019).
9. Прибор для дистанционного обнаружения опасных жидкостей в закрытых емкостях /Руководство по эксплуатации РЭ 4215–001–80708641–2007 – М.: AVK, 2007. – 14 с.
10. ГОСТ Р 52620–2006 Тара транспортная полимерная. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 66 с.
11. Абросимов Б.В., Белозеров В.В., Белозеров Вл.В., Лукьянов А.Д., Любавский А.Ю., Обухов П.С. Способ экспресс-анализа жидких фасованных продуктов и установка для его осуществления – заявка на изобретение № 2018147515 от 29.12.2018.