

ОБ ЭКСПРЕСС-МЕТОДЕ И ПЕРЕНОСНОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ КОМПЛЕКСЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА БУТИЛИРОВАННОЙ ВОДЫ

Белозеров В.В., Мартынов В.В.

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону,
e-mail: 89054516201@mail.ru*

Питьевая бутилированная вода – один из наиболее часто подделываемых продуктов. Методы по контролю качества и безопасности бутилированной воды, изложенные в технических регламентах и государственных стандартах Российской Федерации требуют дорогостоящего специализированного оборудования и квалифицированного персонала, не позволяют проводить анализ быстро и на месте, а выборочность контроля влечет за собой недостоверность данных по всей партии, на которую выдается сертификат, но самое главное – требуется изымать из оборота исследуемые объекты и нарушать герметизацию тары, что, помимо затрат на контроль, приводит к потере готового продукта для потребителя. Именно поэтому, с точки зрения кардинального решения проблемы контроля качества бутилированной воды и борьбы с контрафактом, предложено ввести сплошной контроль выпускаемой продукции без вскрытия тары, а также осуществлять входной контроль в сетевых магазинах, для чего была разработана модель переносного автоматизированного комплекса, на основе адаптации метода весовой импедансной электрометрии (ВИЭМ) к питьевой бутилированной воде. Получив данные с измерителя иммитанса и вычислив физические параметры бутилированной воды, формируется «образ продукта», а отклонения параметров от «эталонного образа» свидетельствуют о некачественности или подделке продукта.

Ключевые слова: бутилированная вода, экспресс-анализ, контрафактная продукция, автоматизированный переносной комплекс, образ эталона

ABOUT THE EXPRESS METHOD AND THE PORTABLE AUTOMATED COMPLEX OF IDENTIFICATION AND QUALITY CONTROL OF BOTTLED WATER

Belozеров V.V., Martynov V.V.

Don state technical University, Rostov-on-don, e-mail: 89054516201@mail.ru

Drinking bottled water is one of the most commonly counterfeited products. Methods for control of quality and safety of bottled water, as set out in technical regulations and state standards of the Russian Federation require expensive specialized equipment and qualified personnel are not allow to analyze quickly and on the spot, and the selectivity control entails the unreliability of the data on the entire party, which issued the certificate, but most importantly – you need to withdraw from circulation the studied objects and to break the sealing of the containers that, in addition to cost control, leads to loss of the finished product for the consumer. That is why, from the point of view of a cardinal solution to the problem of quality control of bottled water and combating counterfeiting, it is proposed to introduce continuous control of products without opening containers, as well as to carry out entrance control in chain stores, for which a model of a portable automated complex was developed, based on the adaptation of the method of weight impedance electrometry (WIE) to drinking bottled water. The data received from the RLC meter and calculating the physical parameters of bottled water, forming «product image», and the deviations of the parameters from the «reference image» does not indicate quality or fake product.

Keywords: bottled water, the express analysis, counterfeit products, automated portable complex, the image of the standard

Согласно исследованию BusinesStat, с 2014 по 2018 год объем продаж минеральных и питьевых вод в России увеличился на 16,2%: с 6,50 до 7,55 млрд. литров. Союз производителей бутилированных вод оценивает объем рынка в 190 млрд. рублей. Однако, исходя из доклада гендиректора «Ростеха» Сергея Чемезова, в среднем по России от 25 до 30% питьевой воды – подделка, а в некоторых регионах доля фальсификата достигает 80%.

Таким образом, задача адаптации эффективных и недорогих экспресс-методов в автоматизированные линии розлива бутилированной воды является актуальной.

Цель исследования заключается в разработке модели переносного автоматизированного комплекса, который позволит за короткий отрезок времени с высокой

точностью определить качество и параметры бутилированной воды непосредственно в места сбыта.

Материалы и методы исследования

В Российской Федерации для контроля качества и безопасности бутилированной воды на предприятии функционирует система технических норм и правил, государственных отраслевых стандартов [1, 2], в которой описаны следующие методы [3–5]:

- методы санитарно-бактериологического анализа;
- методы определения концентрации металлов и содержания минеральных примесей;
- методы определения органолептических свойств.

Помимо стандартных методов для определения качества воды возможно использовать следующие методы [5, 6]:

- титриметрический анализ;
- спектрофотометрия;
- турбидиметрия и нефелометрия;
- атомно-абсорбционный спектральный анализ;
- пламенная фотометрия;

Методы по контролю качества и безопасности бутилированной воды, изложенные в государственных стандартах, а также методы и средства анализа воды, которые могут быть использованы для экспресс-анализа, содержат ряд критических недостатков:

- необходимы специализированное оборудование и высококвалифицированный персонал;
- требуются затраты денежных средств и времени на анализ;
- выборочный метод контроля порождает недоверие к оценке на всю партию;
- необходимо периодически изымать продукцию из оборота и вскрывать тару, что ведет к потере готового продукта для производителя и потребителя.

Именно поэтому, для кардинального решения перечисленных проблем была разработана модель переносного автоматизированного комплекса на основе адаптации метода весовой импедансной электрометрии (ВИЭМ).

Дело в том, стандарт на тару из полиэтилентерефталата для питьевой воды [7] определяет предельные отклонения от номинальных размеров и массы тары для определенных разновидностей продукции, которые никак не должны быть выше:

- 0,1 мм – для геометрических размеров;
- 0,1 мм – для толщины стенки;
- 10% – для номинальной вместимости;
- 10% – для массы тары.

Следовательно, зная массы пустых бутылок объемом 0.5 и 1.5 л, можно взвешиванием на электронных весах, не вскрывая пробки и без отбора пробы, определить плотность жидкости – ρ_i (кг/м³) в нем по формуле [8]:

$$\rho_i = \frac{m_i - m}{V}, \quad (1)$$

где m_i – измеренный вес i -го образца в фасованной таре, г;
 m – эталонный вес тары, г;
 V – эталонный объем тары, л.

При этом значения плотностей при различных температурах вычисляются по формуле [9]:

$$\rho_T = \frac{\rho_{293}}{1 + \beta_p (T - 293)}, \quad (2)$$

где ρ_T – плотность питьевой воды при текущей температуре;

ρ_{293} – плотность питьевой воды при 293 °К;
 β_p – коэффициент объемного расширения;
 T – текущая температура исследуемой воды.

Дальнейшим этапом идентификации параметров бутилированной воды является измерение емкостей воздуха и исследуемой воды и тангенсов угла потерь, что позволяет вычислить значение относительной диэлектрической проницаемости бутилированной воды по формуле (3), определить динамическую вязкость по формуле (4), для чего необходимо вычислить макроскопическое и микроскопическое время релаксации [8, 9]:

$$\varepsilon = C_{\text{ИЗМ}} / C_0, \quad (3)$$

$$\eta_0 = \tau_0 \eta_3 / \tau_3, \quad (4)$$

$$\tau = \frac{3\varepsilon\tau_0}{2\varepsilon + 1}, \quad (5)$$

$$\text{tg} \delta = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_\infty)\omega\tau}{\varepsilon + \omega^2\tau^2}, \quad (6)$$

где C_0 – емкость датчика в воздухе;
 $C_{\text{ИЗМ}}$ – емкость датчика с бутилированной водой;

η_0 – динамическая вязкость;
 τ и τ_0 – макроскопическое и микроскопическое время релаксации;
 ω – циклическая частота;
 η_3 и τ_3 – табличные данные воздуха, загруженные в компьютер.

Измерители иммитанса E7-25 (рис. 1) – прецизионные приборы класса точности 0,1, которые обладают высокой скоростью измерений, под управлением компьютера, что позволит измерить и вычислить не только относительную диэлектрическую проницаемость и тангенс угла потерь в диапазоне частот от 1 кГц до 1 МГц, но также [10]:

- индуктивность;
- емкость;
- активное сопротивление;
- реактивное сопротивление;
- активную проводимость;
- реактивную проводимость;
- добротность;
- ток утечки;
- модуль комплексного сопротивления;
- угол фазового сдвига комплексного сопротивления.



Рис. 1. Измеритель иммитанса E7-25

Так как, измерения производятся на определенных частотах из всего диапазона работы E7-25, а значение ε стремится к 1 при высоких температурах, то, заменив циклическую частоту ω на $2\pi f$ в формуле (6), а также подставив частоты измерений и измеренные значения тангенса угла потерь и относительной диэлектрической проницаемости бутилированной воды, выразим макроскопические времена релаксации продукта при температуре окружающей среды:

$$\tau_{1,2} = \frac{\varepsilon - 1}{4\pi f g \delta} \pm \sqrt{\frac{(\varepsilon - 1)^2}{16 f^2 \pi^2 g^2 \delta} - \frac{\varepsilon}{4\pi^2 f^2}} \quad (7)$$

После этого по формуле (5) определяем микроскопическое время исследуемого продукта, а по формуле (4) – его динамическую вязкость.

Зависимость кинематической вязкости от температуры выражают формулы Вальтера:

$$\lg \lg(v + 0.8) = a + b \lg T, \quad (8)$$

$$a = \lg \lg(v + 0.8) - b \lg T_1, \quad (9)$$

$$b = \frac{\lg \left[\frac{\lg(v_1 + 0.8)}{\lg(v_2 + 0.8)} \right]}{\lg \frac{T_1}{T_2}}, \quad (10)$$

где a и b – эмпирические коэффициенты; T_1 и T_2 – стандартная температура жидких и вязких сред (15 °C, 40 °C).

Для идентификации жидких и вязких продуктов по температуре застывания используются формулы Вальтера, при значении кинематической вязкости 10000 мм²/с:

$$\begin{aligned} \lg \lg(10000 + 0.8) &= \\ &= a + b \lg T \rightarrow T = 10^{\left[\frac{\lg(10000+0.8)-a}{b} \right]}. \end{aligned} \quad (11)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, если встроить емкостный датчик в крышку тары и вывести его обкладки наружу, то получив данные с измерителя иммитанса и вычислив физические параметры бутилированной воды, получим «образ продукта» (таблица), а отклонения параметров от «эталонного образа» будут свидетельствовать о не качестве или подделке продукта [8].

В итоге, модель автоматизированной системы экспресс-контроля параметров бутилированной воды будет состоять из разработанной крышки-датчика на тару и переносного автоматизированного комплекса экспресс-контроля (рис. 2).

Параметры, составляющие «образ эталона»

№	Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Диапазон измерения
1	Масса	m	кг	0,25 – 20
2	Объем	V	м ³	(0,25 – 20) × 10 ⁻³
3	Плотность	ρ	кг/м ³	0,5 – 2,0
4	Проводимость	G	См(1/Ом)	0,000001 – 0,2
5	Емкость	C	пФ	1 – 10000
6	Диэлектрическая проницаемость	ε	Ф/м	1 – 1200
7	Магнитная проницаемость	μ	Гн/м	10 ⁻⁶ – 10 ⁻¹
8	Кинематическая вязкость	ν	м ² /с	10 ⁻⁵ – 10 ⁻³
9	Динамическая вязкость	η	Па×с	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁴
10	Частота измерения	f	Гц	25 – 100000

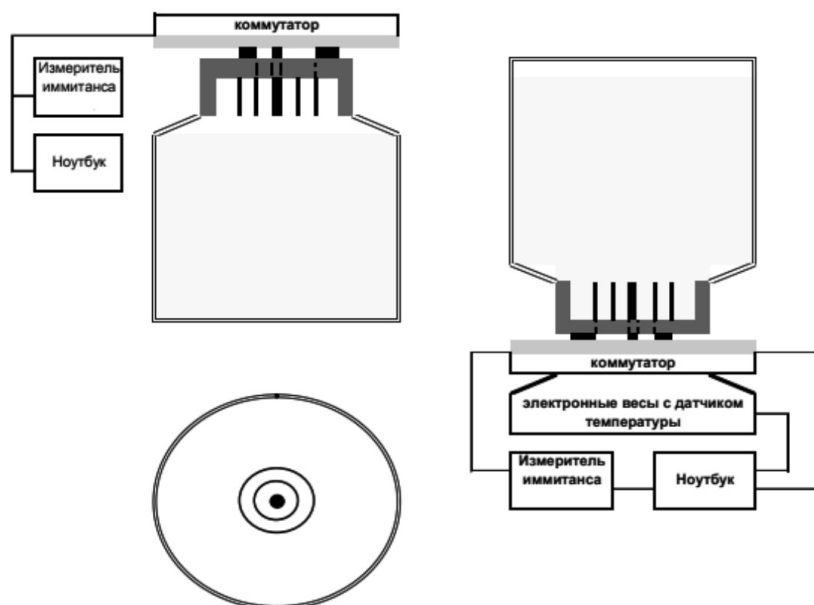


Рис. 2. Модель системы экспресс-контроля

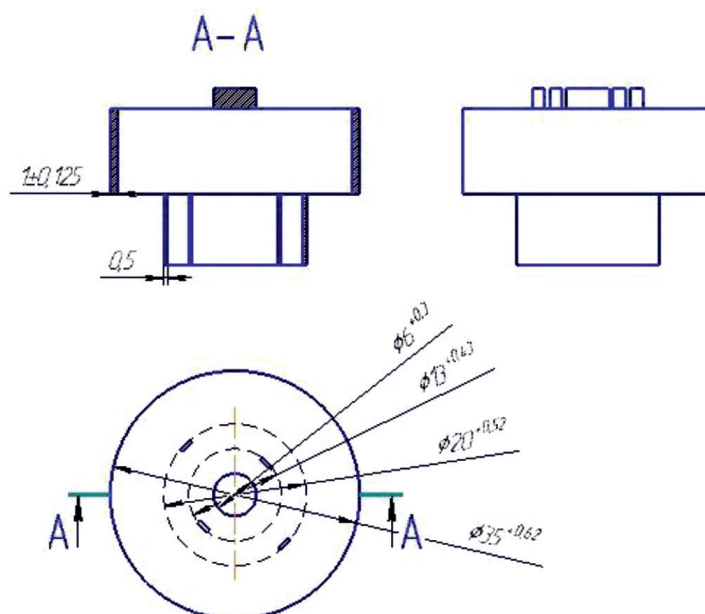


Рис. 3. Емкостный 3-х электродный коаксиальный датчик крышка

Заключение

Модель переносного автоматизированного комплекса (ПАК) базируется на методе весовой импедансной электрометрии, который был адаптирован под бутилированную воду. Предлагаемая модель системы позволит в течение десятка секунд и без вскрытия тары идентифицировать соответствие жидкости эталону, а также система мо-

бильна и учитывает на условия, в которых производится анализ, вводит соответствующие поправки.

Ключевыми элементами ПАК являются: измеритель иммитанса E7-25, электронные весы с датчиком температуры, датчик-крышка, ноутбук и специальное программное обеспечение (СПО), реализующее управляющие и вычислительные алгоритмы.

Список литературы

1. ГОСТ 32220-2013. Вода питьевая, расфасованная в емкости. Общие технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 14 с.
2. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. – Москва: Госстандарт России, 2010. – 13 с.
3. ГОСТ 18963-73. Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 20 с.
4. ГОСТ Р 57164-2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 13 с.
5. Пушинские лаборатории [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.laboratorii.com/stati/spektrofotometriya-v-laboratnoy-praktike.html>.
6. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. – М.: Техносфера, 2009. – 784 с.
7. ГОСТ Р 52620-2006. Тара транспортная полимерная. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 66 с.
8. 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.
9. Троицкий В.М., Белозеров В.В. Модель системы защиты от подделки жидких пищевых фасованных продуктов // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016026255> (дата обращения: 07.11.2019).
10. МНИПИ [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.mnipi.ru/products.php4?group=6&device=4>.