

МЕТОД И ПЕРЕНОСНОЙ КОМПЛЕКС ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА БУТИЛИРОВАННОЙ ВОДЫ

Мартынов В.В., Белозеров В.В.

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

В статье представлен анализ методов и средств сравнительного анализа жидкостей, показаны их достоинства и недостатки. В связи с тем, что методы и средства контроля должны быть использованы и на предприятии (интегрированы в автоматизированные линии), и непосредственно в точках сбыта (имеют мобильность), предложена модель переносного автоматизированного комплекса, которая базируется на методе весовой импедансной электрометрии (ВИЭМ), что даст возможность без вскрытия тары и отбора пробы производить анализ жидкости, сравнивая «образ» исследуемой жидкости с эталонным «образом». Как показали наши исследования ЖФПП (алкогольные и безалкогольные напитки, в том числе питьевая бутилированная вода, растительные масла, молочные продукты и т.д.) реализуются в различной таре (стеклянной, полимерной и т.д.), розлив в которую, как правило, осуществляют автоматизированные линии и установки, а их соответствие и качество, помимо определения химических свойств, можно идентифицировать по ряду физических параметров (плотности, кинематической и динамической вязкости, диэлектрической проницаемости, проводимости и критериям подобия). Применение подобной системы может полностью ликвидировать контрафакт ЖФПП, а также стать соответствующей подсистемой в «Национальной системе управления качеством пищевой продукции».

Ключевые слова: сравнительный анализ, экспресс-идентификация, автоматизированный комплекс, параметры жидкости, образ продукта

METHOD AND PORTABLE COMPLEX FOR RAPID ANALYSIS OF BOTTLED WATER

Belozarov V.V., Martynov V.V.

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

The article presents an analysis of methods and tools for comparative analysis of liquids, showing their advantages and disadvantages. Due to the fact that the methods and controls must be used both at the enterprise (integrated into automated lines) and directly at sales points (have mobility), a model of a portable automated complex is proposed, which is based on the method of weight impedance Electrometry (VEM), which will make it possible to analyze the liquid without opening the container and sampling, comparing the «image» of the liquid under study with the reference «image». As our research has shown, liquid and non-ALCOHOLIC beverages (including bottled drinking water, vegetable oils, dairy products, etc.) are sold in various containers (glass, polymer, etc.), which are usually filled by automated lines and installations, and their compliance and quality, in addition to determining chemical properties, can be identified by a number of criteria.

Keywords: comparative analysis, rapid identification, automated system, the parameters of the liquid, the image of the product

Актуальность предлагаемого подхода и его востребованность обоснована решением Госсовета от 28.08.2017 по вопросу «О национальной системе защиты прав потребителей» и «Стратегией повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года», утвержденных Правительством РФ, из которых следует необходимость реализации следующих задач [1, 2]: совершенствование и развитие методологической базы для оценки соответствия показателей качества пищевой продукции; обеспечение мониторинга качества пищевой продукции; создание единой информационной системы отслеживания пищевой продукции; разработка и внедрение системы управления качеством пищевой продукции.

В данной статье речь пойдет о принципиально новом подходе в реализации указанных выше задач, применительно

к жидким фасованным пищевым продуктам (ЖФПП) с помощью метода весовой импедансной электрометрии [3] и переносного автоматизированного комплекса (ПАК), его реализующего, защищенных патентом РФ [4], применение которых может полностью ликвидировать контрафакт ЖФПП, а также стать соответствующей подсистемой в «Национальной системе управления качеством пищевой продукции» [5].

Как показали наши исследования ЖФПП реализуются в различной таре, розлив в которую, как правило, осуществляют автоматизированные линии и установки, а их соответствие и качество, помимо определения химических свойств, можно идентифицировать по ряду физических параметров (плотности, кинематической и динамической вязкости, диэлектрической проницаемости, проводимости и критериям подобия) [6].

Методы и средства по контролю качества и безопасности алкогольной и безалкогольной продукции, в т.ч. питьевой бутилированной воды, изложенные в технических регламентах и стандартах, достаточно строгие, трудоемкие и затратные (оборудование, персонал), а также требуют периодического изъятия продукции из оборота для отбора проб [3, 5]. Очевидно поэтому, всю большую популярность приобретают готовые решения, основанные на компаративном анализе ЖФПП, т.е. использующие метод сравнения «образов» (акустических, электрических, механических и т.д.) эталона и произведенного продукта, или/и нахождения взаимосвязей между различными параметрами ЖФПП [4, 7].

Среди большого перечня средств измерений наиболее точным среди «дистанционных» методов, не требующих отбора проб, является ИК-спектрометрия [8].

В ИК-спектрометре с Фурье-преобразованием, при пропускании излучения через жидкость происходит возбуждение колебательных движений молекул (отдельных фрагментов молекул), а также ослабление интенсивности излучения при тех длинах волн, энергия которых соответствует энергиям возбуждения колебаний в излучаемых молекулах [8]. Эта особенность используется для качественной идентификации жидко-

сти при помощи ИК-спектрометра, который позволяет снять ИК-спектр вещества, а, благодаря наличию большой базы спектров эталонов, становится возможным оценить степень соответствия эталону при помощи сравнительного корреляционного анализа или выполнить библиотечный поиск [8].

В ИК-спектрометрах блок прибора, ответственный за разложение спектра по частотам, называется анализатор частоты, который может выполнять физическое (дисперсионная ИК-спектроскопия) или математическое разложение длин волн (ИК-спектроскопия с Фурье-преобразованием). Однако, в связи с тем, что физическое разложение длин волн очень продолжительный процесс, ИК-спектроскопия с Фурье-преобразованием на данный момент вытеснила дисперсионную ИК-спектроскопию [8].

В схеме луч падает на светоделитель, из-за чего получается два луча примерно одинаковой интенсивности. Далее, каждый из этих лучей отражается от своего зеркала и возвращается на светоделитель, где лучи объединяются, создают интерференцию и попадают на детектор. Одно из зеркал в интерферометре является подвижным: его положение постоянно меняется, за счет чего возникает меняющаяся разность хода, что приводит к положительной или отрицательной интерференции [8].

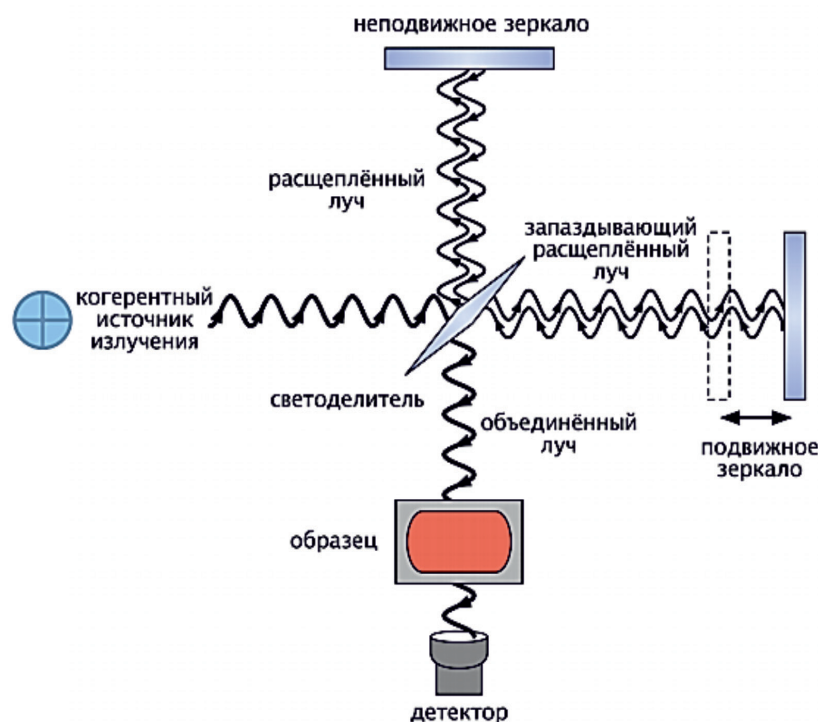


Рис. 1. Схема интерферометра



Рис. 2. ИК-Фурье спектрометр (FT-IR)

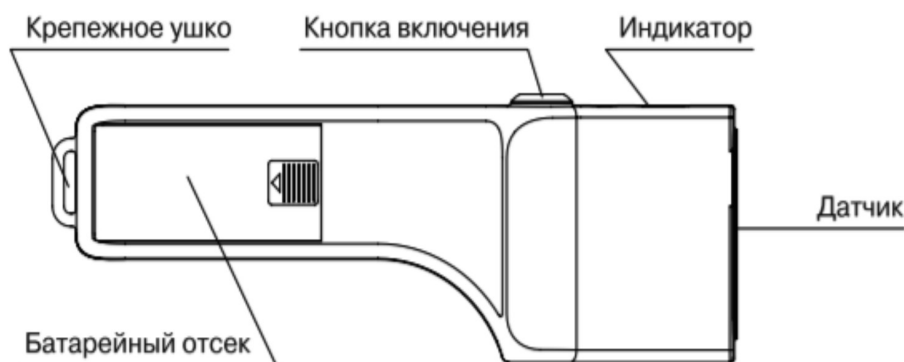


Рис. 3. Общий вид прибора с указанием основных конструктивных элементов

В настоящее время ИК-спектрометры широко используются в фармацевтической и пищевой промышленности, на предприятиях по производству полимеров и композитов, топлив и масел, однако метод не чувствителен к примесям, если они не превышают 1 %. Другое ограничение заключается в том, что многие жидкости и газы, вода и углекислый газ в частности, имеют в ИК-области очень сильное поглощение [8, 9].

Наиболее интересным, с точки зрения «бесконтактности и быстроты» идентификации, является «Ручной прибор для обнаружения огнеопасных жидкостей в закрытых сосудах (ППБ)», позволяющий оценивать пространственное распределение электрических свойств среды и определять характеристики жидкости независимо от размеров контейнера, толщины его стенок или наличия воздушных зазоров между прибором и сосудом. На измери-

тельных электродах устройства наводятся потенциалы, величина которых зависит от источника напряжения, расстояния между активным электродом и измерительными электродами и комплексной диэлектрической проницаемости среды. В свою очередь, электрические свойства жидкости (диэлектрическая проницаемость и проводимость) позволяют однозначно оценить ее опасность. С другой стороны, прототип поставляется уже со стандартным программным обеспечением и не может быть перепрограммирован, так как не имеет разъема подключения [10].

Время обследования емкости с жидкостью составляет несколько секунд, а, благодаря малым габаритам, LQtest 2.8 имеет высокую мобильность.

Общим «недостатком» указанных средств является их высокая стоимость, а ИК Фурье-спектрометр требует ещё высококвалифицированного специалиста.

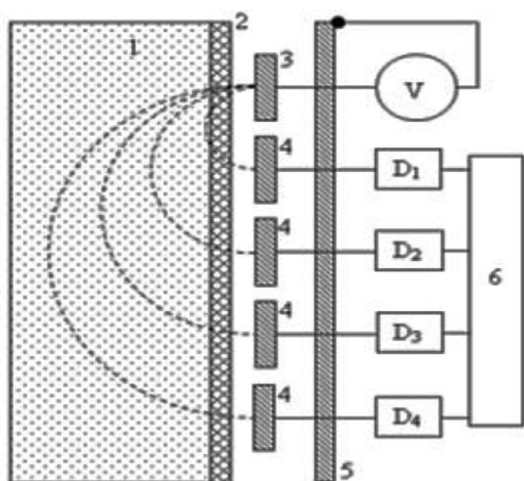


Рис. 4. Полевая структура LQtest 2.8:
1 – проверяемая жидкость, 2 – стенка сосуда и воздушный зазор, 3 – активный электрод, 4 – измерительные электроды, 5 – металлический экран, 6 – вычислительное устройство, V – источник переменного напряжения, Dn – измерители

Именно поэтому, для обеспечения сплошного контроля наиболее «контрафактно-опасных» жидких фасованных

пищевых продуктов, которыми оказались бутилированная вода и спиртоводочная продукция, был разработан и защищен патентом РФ на изобретение, метод весовой импедансной электрометрии и переносной комплекс, его реализующий [4].

Переносной автоматизированный комплекс

Метод весовой импедансной электрометрии (ВИЭМ) с емкостным датчиком-крышкой был опробован на различных фасованных жидких продуктах (масло, алкогольная и безалкогольная продукция) и показал достаточную точность их идентификации без вскрытия тары и отбора проб.

Сущность метода ВИЭМ заключается в том, что, из-за внедрения на этапе фасовки датчика-крышки, появляется возможность измерить указанные выше электрофизические параметры жидкости, без нарушения герметичности упаковки, т.е. определить «образ» исследуемой жидкости, сравнить его с «образом эталона» и вычислить критерии подобия (электродинамический, электромагнитный, диэлектрический, электроиндуктивный и электроемкостный) [3, 4].

Для реализации такого компаративного анализа ЖФПП был разработан переносной автоматизированный комплекс (ПАК).

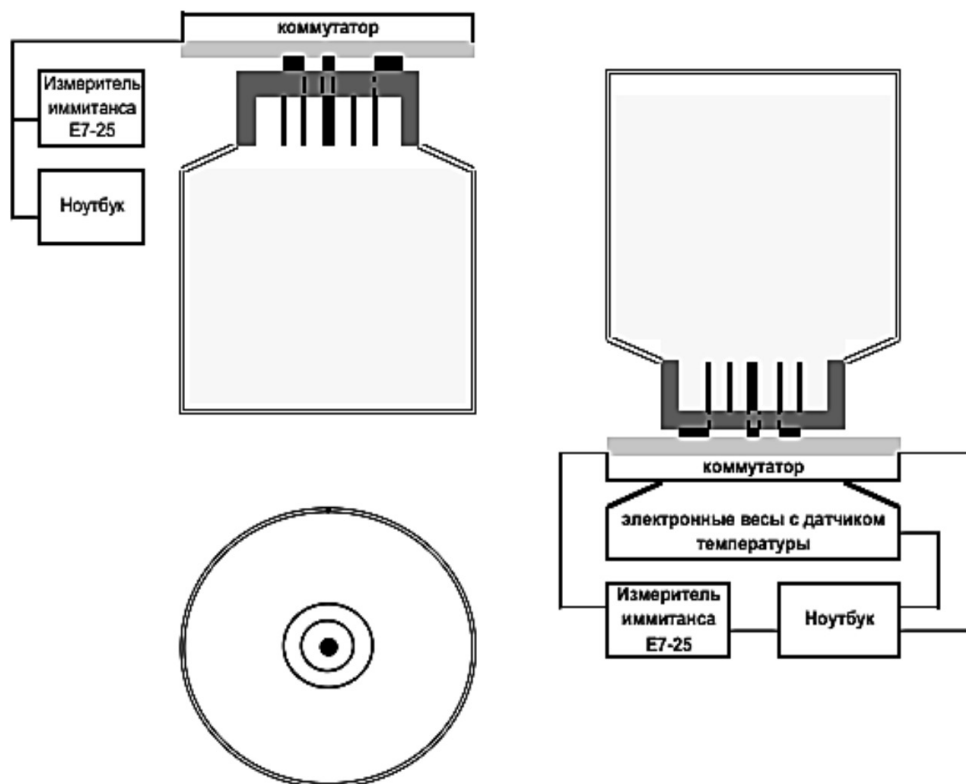


Рис. 5. Структурная схема ПАК

Установка для осуществления способа экспресс-анализа ЖФПП состоит из компьютера с подключением к нему через соответствующие интерфейсы электронных весов и измерителя иммитанса, который соединен с емкостным датчиком-крышкой, опускаемым в исследуемый жидкий продукт, через отверстие в таре, куда тот расфасован, а с помощью соответствующего программного обеспечения, управляемого компьютером, осуществляющая в течение десятка секунд идентификацию жидкого продукта и определение его качества путем сравнения измеренных и вычисленных параметров с введенными/хранящимися в памяти параметрами эталонов [5].

«Образы» эталонов, например, бутилированной питьевой воды, которые вводятся и хранятся в памяти компьютера, состоят из двух групп характеристик: первая – характеристики жидкого продукта, расфасованного в тару; вторая – характеристики тары, в которую расфасован жидкий продукт (тип и вес тары, тип и вес крышки тары, объем тары) [4, 5].

Измерение температуры окружающей среды и массы продукта является стартовым этапом идентификации. Компьютер, получив данные с электронных весов и датчика температуры, приступает к расчету плотности жидкого продукта по соответствующей формуле (требуются данные эталонных масс тары, объема тары, масс крышки), а также производит расчет плот-

ностей при стандартных положительных и отрицательных температурах.

Далее, компьютер управляет измерителем иммитанса Е7-25, на предмет проведения измерений значений электропроводностей (G), сопротивлений (R), емкостей (C), тангенсов углов потерь ($\text{tg}\delta$) и токов утечки (I), на фиксированных значениях частот измерений из диапазона от 10 Гц до 1 МГц, которые записаны в управляющей программе компьютера. При этом, полученные данные образуют спектры значений, записываемые компьютером и используются для последующих вычислений относительной диэлектрической проницаемости (ϵ) воды, ее динамической вязкости (η_0), для чего вычисляются макро- (τ) и микроскопические времена (τ_0) релаксации [3, 4]. Кинематическая вязкость жидкости (ν), расфасованной в емкости, изменяется в зависимости от температуры: для идентификации жидких и вязких продуктов по температуре застывания используются формулы Вальтера, при значении кинематической вязкости 10000 мм²/с [3]. Соответственно, совокупность параметров идентифицируемого продукта, формирующая «образ» продукта приведена в таблице.

Таким образом, совокупность измеренных и вычисленных параметров при помощи переносного автоматизированного комплекса формирует «образ» исследуемой жидкости.

Номенклатура параметров «образа»

№	Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Диапазон изменения
1	Масса продукта	m	кг	0,25 – 20
2	Объем продукта	V	м ³	(0,25 – 20) × 10 ⁻³
3	Плотность продукта	ρ	кг/м ³	990-1000
4	Электропроводность	G	См (1/Ом)	0,000001-0,2
5	Сопротивление	R	Ом	5 – 10 ⁶
6	Ток утечки	I	А	10 ⁻⁶ -0,2
7	Емкость (при емкостном датчике)	C	пФ	10 ⁻³ – 10 ¹²
8	Температура	T	°C	1 – 50
9	Фактор потерь	$\text{tg}\delta$	б/р	10 ⁻⁶ -10 ⁻³
10	Удельная электропроводность	σ	мкСм/см	50-1500
11	Магнитная проницаемость	m	Гн/м	(8 – 9) × 10 ⁶
12	Модуль комплексного сопротивления	Z	Ом	900 – 9500
13	Угол сдвига ком-плексн.сопр.	ϕ	градус	минус 180° – плюс 180°
14	Кинематическая вязкость	ν	м ² /с	(0,3 – 1,8) × 10 ⁻⁶
15	Динамическая вязкость	η	Н×с/м ²	(0,3 – 1,8) × 10 ⁻³
16	Частота	f	Гц	10 – 10 ⁶
17	Диэлектрическая проницаемость	ϵ	Ф/м	60-90

Окончательная идентификация бутилированной воды, а также соответствие ее установленным параметрам качества и количества, осуществляется с учетом допустимых отклонений, установленными соответствующими стандартами и техническими условиями на расфасованные жидкие продукты и их тары.

Заключение

Переносной автоматизированный комплекс, базирующийся на методе весовой импедансной электрометрии, имеет большой потенциал в области экспресс-идентификации ЖФПП, и может быть задействован при реализации национальной системы защиты прав потребителей, а также в повышении качества пищевой продукции в Российской Федерации.

Список литературы

1. Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства от 29 июня 2016 г. № 1364-р. 17 с.
2. О национальной системе защиты прав потребителей: постановление Совета федерации Федерального собрания РФ от 23 октября 2019 г. № 468-СФ. 10 с.
3. 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.
4. Способ экспресс-анализа жидких фасованных продуктов и установка для его осуществления / В.В. Белозеров, А.Д. Лукьянов, П.С. Обухов, Д.В. Абросимов, А.Ю. Любавский, Вл. В. Белозеров // Патент на изобретение RU 2696810, опубл. 06.08.2019, Бюл. № 22.
5. Мартынов, В.В., Белозеров В.В. Об экспресс-методе и переносном автоматизированном комплексе идентификации и контроля качества бутилированной воды // EUROPEAN JOURNAL OF NATURAL HISTORY. 2020. № 1. С. 61-71.
6. Кречетов А.Л. Об экспресс-методе и переносном автоматизированном комплексе идентификации и контроля качества фасованных пивных продуктов // Материалы XI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <http://scienceforum.ru/2019/article/2018013598> (дата обращения: 25.01.2021).
7. Ергалиев, Д.С. Сравнительный анализ методов распознавания образов // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2011. № 1. С. 1-5.
8. Колесник И.В. Инфракрасная спектроскопия: методическая разработка / И.В. Колесник, Н.А. Саполетова. М.: МГУ им М.В. Ломоносова, 2011. 88 с.
9. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия; пер. с англ. Б.Н. Тарасевича, науч. Ред. А.А. Мальцева. Москва: МИР, 1982. 328 с.
10. Ручной прибор для обнаружения огнеопасных жидкостей в закрытых сосудах «LQtest 2.8». Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: https://sao96.ru/f/lqtest-28_rukovodstvo.pdf (дата обращения: 25.01.2021).