

УДК 53.087

## МОДЕЛЬ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ПО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКИХ ФАСОВАННЫХ ПРОДУКТОВ

Мартынов В.В.

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

С целью повышения эффективности контроля качества и преодоления проблемы контрафактной продукции необходимо внедрять непосредственно на производстве систему сплошного выходного контроля, основа которой должна быть построена на экспресс-методе, реализующего неразрушающий контроль – без отбора пробы и нарушения герметичности тары. В связи с чем, в исследовании задействован компаративный метод весовой импедансной электрометрии, суть которого заключается в сравнении «образа» анализируемого продукта с «образом эталона». Автор отмечает, что внедрение системы сплошного выходного контроля на производстве потенциально не должно значительно удорожать стоимость выпуска, с одной стороны, а, с другой стороны, идентификация параметров жидкого продукта не должна негативно отражаться на производительности автоматизированной линии розлива, основу которой на современном производстве составляют триблоки – машины фасовочно-укупорочные с предварительным ополаскиванием, определяющие общую производительность. В статье отображено, что в процессе работы триблока тара на линии переворачивается, точно позиционируется для наполнения (контроль которого осуществляется, в том числе, по весу) и укупоривания, т.е. современный триблок реализует ключевые операции, необходимые для идентификации параметров с помощью метода весовой импедансной электрометрии. И требуется лишь дополнить контроль измерением температуры продукта и внедрить датчик-крышку.

**Ключевые слова:** сплошной контроль, роботизированный комплекс, экспресс-идентификация, неразрушающий контроль, компаративный анализ

## THE MODEL OF A ROBOTIC COMPLEX FOR MONITORING THE PARAMETERS OF LIQUID PACKAGED PRODUCTS

Martynov V.V.

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: 89054516201@mail.ru*

In order to increase the effectiveness of quality control and overcome the problem of counterfeit products, it is necessary to implement a continuous output control system directly at the factory, the basis of which should be based on an express method that implements non-destructive testing – without sampling and breaking the tightness of the container. In this connection, the comparative method of weight impedance electrometry is involved in the study, the essence of which is to compare the “image” of the analyzed product with the “image of the standard”. The author notes that the introduction of a continuous output control system in production should potentially not significantly increase the cost of production, on the one hand, and, on the other hand, the identification of liquid product parameters should not negatively affect the performance of an automated filling line, the basis of which in modern production consists of triblock filling machines with pre-rinsing, determining overall performance. The article shows that during the operation of the triblock, the container on the line is turned over, precisely positioned for filling (which is controlled, including by weight) and capping, i.e. the modern triblock implements the key operations necessary to identify parameters using the method of weight impedance electrometry. And it is only necessary to supplement the control by measuring the temperature of the product and introduce a sensor- cover.

**Keywords:** continuous monitoring, robotic complex, express identification, non-destructive testing, comparative analysis

Современные предприятия за счет внедрения автоматизированных конвейерных линий розлива и продуманной логистики способны покрыть огромный спрос мегаполисов в промышленных и продуктово-бытовых бутылированных жидкостях, однако несовершенство используемых стандартных методов и средств [1-3] не позволяет осуществлять оперативный контроль качества каждого продукта в партии. Несовместимость законодательной и нормативно-технической базы, как и правоприменительной системы в части выявления и изъятия контрафакта, являются «глазёйкой» в «Национальной системе управления качеством фасованных жидких продуктов», что содействует проник-

новению некачественной продукции на российский рынок, подрывает здоровье и благополучие граждан. В свою очередь, ужесточение мер регулирования рынка жидких фасованных продуктов только способствует еще большему внедрению контрафактных продуктов в розничную продажу [2].

Как показали исследования [2-4], для преодоления проблемы контрафактной продукции необходимо разработать и внедрить непосредственно на производстве систему сплошного выходного контроля, которая должна удовлетворять следующим требованиям:

- идентификация параметров жидкого продукта не должна негативно отражаться

на производительности автоматизированной линии розлива;

- идентификация параметров жидкого продукта должна осуществляться в промежутке между фасовкой и этикетированием;
- идентификация параметров жидкого продукта должна осуществляться без нарушения герметичности тары и отбора пробы (т.н. неразрушающий контроль);
- внедрение системы сплошного контроля не должно значительно удорожать стоимость выпуска продукта.

Целью исследования является повышение эффективности контроля качества жидких фасованных продуктов.

#### Материалы и методы исследования

В исследовании задействован метод весовой импедансной электрометрии (ВИЭМ), который описан в патенте РФ RU 2696810 С1 «Способ экспресс-анализа жидких фасованных продуктов и установка для его реализации» [5].

В Донском государственном техническом университете (ДГТУ) на базе кафедры «Системы приводов и автоматизированного контроля» собран стационарный исследовательский стенд (рисунок 1) по экспресс-идентификации параметров жидкого продукта.

В состав стенда входит:

- Измеритель иммитанса E7-20 – прецизионный прибор класса точности 0,1;
- Весы фасовочные настольные, RS-232;
- Цифровой датчик температуры DS18B20;
- Коммутатор и специальный датчик-крышка (рисунок 2);
- Компьютер со специализированным ПО, реализующий автоматизированный сбор и обработку данных.

Алгоритм идентификации параметров жидкого фасованного продукта:

- сперва совершается определение массы ( $m$ ) и температуры ( $T$ ) продукта;
- затем компьютер осуществляет расчет текущей плотности ( $\rho_t$ ) по формуле (1), а также плотностей при стандартных положительных и отрицательных температурах ( $\rho_t$ ) по формуле (2);
- измеритель иммитанса E7-20 передает данные об электропроводности ( $G$ ), сопротивлении ( $R$ ), емкости ( $C$ ) или индуктивности ( $L$ ), тангенсах углов потерь ( $tg\delta$ ) и токах утечки ( $I$ ) датчика-крышки внутри герметичной тары в газовой среде (при нормальном положении) и в жидкой среде (при перевороте тары), на фиксированных значениях частот измерений из рабочего диапазона устройства [1, 5];

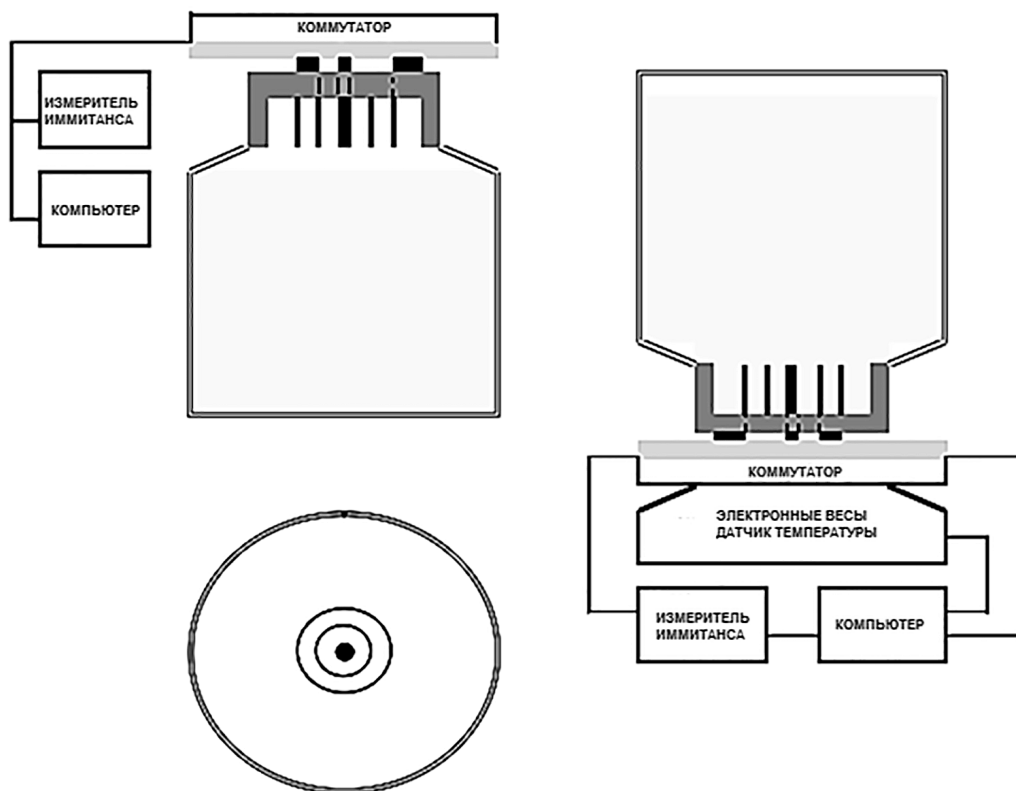


Рис. 1. Структура исследовательского стенда

- полученные данные образуют спектры значений, записываемые компьютером и используются для последующих вычислений относительной диэлектрической проницаемости ( $\varepsilon$ ) воды по формуле (3), ее динамической вязкости ( $\eta_0$ ) по формуле (4), для чего вычисляются макро- ( $\tau$ ) и микроскопические времена ( $\tau_0$ ) релаксации по формулам (5 и 6), а кинематическая вязкость ( $\nu$ ), обуславливаемая температурой, вычисляется по формулам (7, 8 и 9) [1, 5]:

$$\rho_i = (P_i - P_j) / V_{ij}, \quad (1)$$

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

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

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

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

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

$$\lg \lg(\nu + 0.8) = a + b \lg T, \quad (7)$$

$$a = \lg \lg(\nu + 0.8) - b \lg T_1, \quad (8)$$

$$b = \frac{\lg \left[ \lg(\nu_1 + 0.8) / \lg(\nu_2 + 0.8) \right]}{\lg \frac{T_1}{T_2}}, \quad (9)$$

где  $P_i$  – измеренный вес  $i$ -го образца в фасованной таре, кг;

$P_j$  – вес  $j$ -ой эталонной тары, кг;

$V_{ij} = 0.5, 1.5 \dots N$  л – эталонный объем тары;

$\Delta t = (18,31 - 13,233 \cdot \rho_{20^\circ\text{C}}) \cdot 10^{-4}$  – температурная поправка к плотности на один градус;

$t$  – искомая температура,  $^\circ\text{C}$ ;

$\rho_T$  – плотность жидкости при текущей температуре и при  $20^\circ\text{C}$ ;

$C_0$  – емкость датчика в воздухе;

$C_{\text{изм}}$  – емкость датчика в жидкости;

$\eta_0$  – динамическая вязкость;

$\omega$  – циклическая частота;

$\eta_3$  и  $\tau_3$  – табличные данные воздуха, загруженные в компьютер;

$a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты;

$T_1$  и  $T_2$  – стандартная температура жидких и вязких сред.

Вычисление характеристической частоты, при которой проводимость ( $G$ ) не зависит от температуры ( $t$ ) находим по методике, изложенной в [6]

#### Перечень параметров «образа» питьевой воды

| №  | Наименование параметра                       | Диапазон изменения  |
|----|--|---|
| 1  | Масса продукта, $m$                          | 0,25 – 20 кг  |
| 2  | Объем продукта, $V$                          | $(0,25 - 20) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$                         |
| 3  | Плотность продукта, $\rho$                   | 990 – 1000 кг/м <sup>3</sup>                                    |
| 4  | Электропроводность, $G$                      | 0,000001 – 0,2 См (1/Ом)  |
| 5  | Сопротивление, $R$                           | 5 – $10^6$ Ом   |
| 6  | Ток утечки, $I$                              | $10^{-6}$ – 0,2 А   |
| 7  | Емкость, $C$                                 | $10^{-3}$ – $10^{12}$ пФ  |
| 8  | Индуктивность, $L$                           | 30 – 120 нГн  |
| 9  | Температура, $T$                             | 1 – 50 $^\circ\text{C}$   |
| 10 | Фактор потерь, $\text{tg} \delta$            | $10^{-6}$ – $5^{-3}$ б/р  |
| 11 | Удельная электропроводность, $\sigma$        | 50 – 1500 мкСм/см   |
| 12 | Магнитная проницаемость, $\mu$               | $(8 - 9) \cdot 10^6$ Гн/м                                       |
| 13 | Модуль комплексного сопротивления, $ Z $     | 900 – 9500 Ом   |
| 14 | Угол сдвига комплексного сопр., $\varphi$    | минус $180^\circ$ – плюс $180^\circ$                            |
| 15 | Кинематическая вязкость, $\nu$               | $(0,3 - 1,8) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$                |
| 16 | Динамическая вязкость, $\eta$                | $(0,3 - 1,8) \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ |
| 17 | Частота, $f$                                 | 25 – $10^6$ Гц  |
| 18 | Диэлектрическая проницаемость, $\varepsilon$ | 60-90 Ф/м   |
| 19 | Характеристическая частота, $F_x$            | 2500-5450 кГц   |

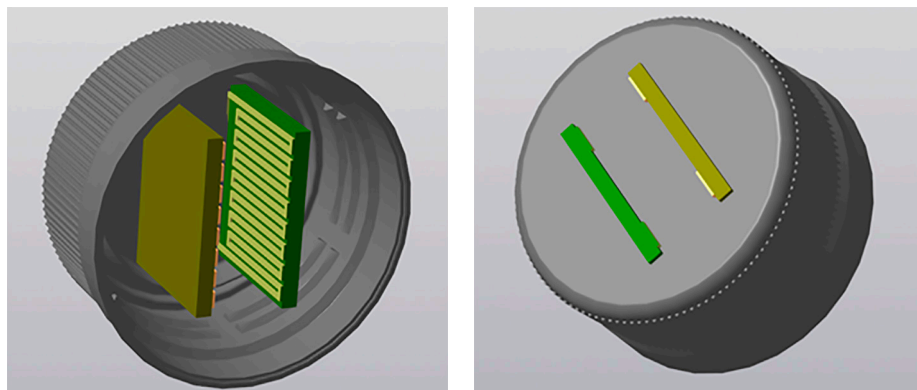


Рис. 2. 3D-модель емкостно-индуктивного датчика-крышки

Совокупность измеренных и вычисленных параметров образца формирует «образ жидкости» (таблица), который уже сравнивается с «образом эталона».

На теле крышки сверху имеются контакты для подключения коммутатора. В зависимости от способа соединения возможно получить как индуктивный, так и емкостный датчик. Предполагается внедрение датчика на этапе фасовки.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Машины фасовочно-укупорочные с предварительным ополаскиванием или же «триблоки» (рисунок 3) – основа автоматизированной линии розлива, совмещающая несколько функций: ополаскивание тары, розлив жидкости и укупоривание. В большинстве случаев производительность всей автоматизированной линии розлива зависит от производительности триблока, а та, в свою очередь, прямо пропорциональна количеству дозирующих головок и обратно пропорциональна объему тары [7].

Так, например, триблоки розлива воды от ЗАО Кропоткинский завод МиССП на 1,5 л, 5 л и 19 л ПЭТ-тары (ТРБ 32-45-12, ТРБ 5 12-12-4 и ТРБ-100-19) имеют максимальную производительность 8000 б/ч (0,45 с на бутылку, 32 ополаскивающие головки, 45 разливные головки), 1500 б/ч (2,4 с на бутылку, 12 ополаскивающих головок, 12 разливных головок) и 100 б/ч (36 с на бутылку, 1 разливная головка).

В процессе работы оборудования держатель ополаскивателя захватывает зажимами горловину бутылки и перемещает ее по кругу, *переворачивая* при этом бутылку вверх дном, а после ополаскивания и стекания жидкости бутылка вновь *переворачивается*, возвращаясь в положение «дном вниз». Чистые бутылки с помощью про-

жуточной звездочки передаются на подъемные вилки машины розлива и *точно позиционируются* под разливной головкой. Бутылка *поднимается* и *опускается* с помощью кулачкового механизма, и по сигналу с датчика последовательно осуществляется наполнение. Причем контроль дозировки осуществляется как оптически (по уровню), так и гравитационным способом (*по весу*). После окончания процесса наполнения бутылки перемещаются в укупорочный блок, где укупорочные головки совершают *вращательно-поступательное* движение, производится накручивание пробки на горлышко бутылки и, далее, передача бутылки на конвейерную ленту для последующей транспортировки.

Современный триблок розлива уже на данный момент совершает ключевые операции, необходимые для адаптации метода весовой импедансной электрометрии: измерение веса, переворот и подъем/опускание бутылки, точное позиционирование и удерживание крышки. Блок розлива содержит датчик контроля тары и потенциально может быть дополнен контролем температуры, а контроль наполнения по весу позволит осуществить расчет текущей плотности, а также плотностей при стандартных положительных и отрицательных температурах.

Блок укупорки за счет точного позиционирования и фиксации тары кулачковыми механизмами может быть дополнен коммутатором, позволяющим осуществить измерение параметров датчика-крышки «на воздухе», а переворот тары, осуществляемый таким же механизмом, как и при ополаскивании, позволит осуществить замер параметров датчика-крышки «в жидкой среде», вычислении прочих параметров, составлении «образа» исследуемого продукта и сравнение его с «образом» эталона.



Рис. 3. Трибллок розлива воды и напитков в ПЭТ бутылки

С другой стороны, все еще остается нерешенным вопрос о длительности идентификации продукта и, соответственно, влияние на производительность линии розлива, ведь как показывает расчет, в худшем случае, на малых объемах тары, времени на замеры, перевороты и расчеты будет не более 1 с. С увеличением же объема тары время, доступное для проведения идентификации, также увеличивается, однако возрастают требования к механизмам, осуществляющих переворот и транспортировку.

### Заключение

Система сплошного выходного контроля качества фасованных продуктов, основанная на экспресс-методе весовой импедансной электрометрии, реализуема при условии модернизации линий розлива, разработки и внедрению датчиков-крышек, а также формирования базы данных, хранящих «образы» исследуемых продуктов.

### Список литературы

1. Martynov V.V. Nanotechnology in the “National quality Management system of packaged liquid products” // European Journal of Natural History. 2022. No. 6. P. 17-20.

2. Илихменов А.В., Бадалов Г.В., Белозеров В.В. Модель автоматизированной системы идентификации алкогольных напитков // Материалы XV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». URL: <https://scienceforum.ru/2023/article/2018033316> (дата обращения: 28.11.2023).

3. Бадалов Г.В., Белозеров В.В. Методы и средства экспресс-анализа пивной фасованной продукции // Материалы XIV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018029967> (дата обращения: 21.12.2023).

4. Андреев В.В. Результаты исследований молочной продукции методом весовой импедансной электрометрии емкостным датчиком // Материалы XV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». URL: <https://scienceforum.ru/2023/article/2018033389> (дата обращения: 28.11.2023).

5. Белозеров В.В., Лукьянов А.Д., Обухов П.С., Абросимов Д.В., Любавский А.Ю., Белозеров Вл.В. Способ экспресс-анализа жидких фасованных продуктов и установка для его осуществления // Патент РФ № 2696810. Патентообладатель ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». 2019. Бюл. № 22.

6. Усиков С.В., Астратъева Н.В., Васильева Л.К., Карташов Ю.И., Усиков А.С., Фоменко В.В. Способ определения рода жидкостей // Патент РФ № 2383010. Патентообладатель ФГУП «Российский научный центр «Прикладная химия». 2010. Бюл. № 6. 6 с.

7. Мартынов В.В., Донской Д.Ю., Зотов А.А. О методах контроля параметров при розливе и реализации безалкогольных газированных сокодержащих напитков // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 3-3. С. 66-71.