УДК 631.53.027.34

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИИ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ЖИДКИХ СРЕД

Яковлев В.Ф., к.т.н., профессор,

Стручаев К.Н., ст. преподаватель,

Щербаков С.В., ассистент

Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь, Россия

Аннотация. Производство продукции переработки плодов и ягод, в частности плодовых соков, соответствующего качества, требует создание технических средств экспрессного контроля качественных признаков при непрерывности самого технологического процесса. К таким показателям качества относится концентрация сухих веществ и наличие не предусмотренных рецептурой, добавок, например, добавленного сахара. Поэтому, исследования, направленные на поиск новых методов и разработки, на их основе, технических средств экспрессной оценки качественных признаков, как в отдельно взятых пробах, так и в технологическом потоке в целом, являются актуальными. Из ряда методов, наиболее приемлемыми являются электрофизические и акустические методы, позволяющие по параметрам применяемого поля оценивать качественные признаки продукта, которые тесно связаны с физико-биохимическими характеристиками продукта. Материал статьи является результатом экспериментальных исследований по установлению взаимосвязи между качественными признаками

плодовых соков и параметрами электрического и акустического зондирующих сигналов.

Ключевые слова: амплитуда, длительность импульса, зондирующий сигнал, компаратор, коэффициент поглощения, скорость звука, триггер, электронно-акустическое устройство, электропроводимость.

Постановка проблемы. Одним из показателей качества плодово-ягодных соков является содержание в них сухих растворимых и нерастворимых веществ, а также не предусмотренных рецептурой, добавок, которые в настоящее время определяются в лабораториях массового и химического анализа. Проведение таких анализов требует значительных затрат времени и приостановки технологического процесса. Создание устройств экспрессного анализа в непрерывном технологическом потоке, которые позволят обеспечить не только достаточный уровень контроля качества продукта, но и автоматизировать сам технологический процесс является актуальной задачей. Решение этой задачи требует поиска новых методов и разработки, на их основе, технических средств экспрессной оценки качественных признаков в отдельно взятых пробах и в технологическом потоке в целом.

Из ряда перспективных методов, выбраны два: электрофизический и акустический методы, позволяющие оценивать тот или иной качественный показатель по параметрам акустических и электрических зондирующих сигналов, которые тесно связаны с физико-биохимическими характеристиками продукта, определяющих его признаки качества.

Анализ последних исследований и публикаций. Проведенный анализ исследований, по данному вопросу, свидетельствует о том, что они направлены на усовершенствование уже существующих

устройств экспрессного контроля, позволяющих повысить их точность и сократить время измерений по одному из компонентов или на изучение физико-биохимических свойств, еще не исследованных, многокомпонентных жидких сред и установление взаимосвязи между свойствами продукта и параметрами физического поля, примененного при их оценке [1-5]. Данные исследования связаны с исследованиями, позволяющими изыскать метод одновременной экспрессной оценки концентрации трехкомпонентных жидких сред, к которым можно, с определенными допущениями, отнести консервированные плодовые соки. Выше, изложенное определяет основные задачи и цель исследований.

Основные материалы исследования. При проведении экспериментальных исследований использовались методы моделирования, численные и статистические методы обработки экспериментальных данных [6-9]. Данные исследования являются продолжением работы, ведущейся в этом направлении.

Программа экспериментальных исследований предусматривала:

- исследование параметров трех выходных сигналов (скорости ультразвука $c_к$, коэффициента поглощения $\delta_к$, проводимости $\gamma_к$) в зависимости от концентрации сухих (растворимых и нерастворимых) веществ и добавленного сахара в объекте исследования.

Методика исследований заключается в следующем. Для обеспечения качества плодовых соков, представляющих собой водный раствор [3], необходимо осуществлять одновременный и непрерывный контроль содержания сухих растворимых и нерастворимых веществ, а также добавленного сахара. На основе измерения скорости звука, коэффициента поглощения и электропроводимости пробы составлялась система уравнений, аппроксимирующих связь искомых величин с физико-биохимическими параметрами раствора. Решение, полученной

системы уравнений позволяет найти количественные значения концентраций каждого из компонентов, входящего в состав исследованной среды.

Схема установки, для проведения экспериментальных исследований по определению параметров выходных сигналов в зависимости от концентрации компонентов плодового сока, приведена на рисунке 1. Проба, с определенной концентрацией компонентов сока, помещалась в камеру измерения параметров КИП (4). В эту камеру, через переключающее устройство ПУ (3), подаются сигналы или от генератора акустических зондирующих импульсов ГЗИ (1), или от блока формирования электрического сигнала БП (2). С измерительной камеры, в зависимости какой параметр обрабатывается, выходной сигнал подается на блок обработки акустического сигнала БОАС (5) или блок обработки электрического сигнала БОЭС (6). С этих блоков сигналы поступают в соответствующие отсчетные устройства $ОУ_{c,\delta}$ (7) или $ОУ_{\gamma}$ (8).

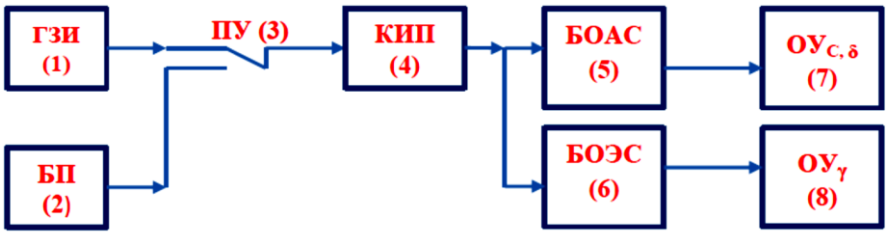

Рис. 1. – Схема экспериментальной установки для исследования параметров выходных сигналов в зависимости от концентрации компонентов в плодовом соке

Исследования проводились для 12 проб яблочного сока с различным сочетание компонентов: сухих растворимых веществ, сухих нерастворимых веществ и добавленного сахара. Измерения проводились с трехкратной повторностью, при температуре 20°С.

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1, в которой значения откликов представлены для рассчитанных средних значений $\overline{y_i}$.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

Номер опыта	Концентрация компонентов, %			Средние значения откликов $\overline{y_i}$		
	$x_1 = k_{1\%}$	$x_2 = k_{2\%}$	$x_3 = k_{3\%}$	$\overline{y_c}$	$\overline{y_\delta}$	$\overline{y_\gamma}$
1	2,95	2,00	8,85	1514,5	14,2	0,65
2	14,00	6,32	4,88	1526,9	28,3	2,42
3	4,06	8,12	3,69	1515,9	17,1	1,26
4	13,72	3,40	13,90	1537,7	22,7	2,48
5	1,02	4,15	10,34	1525,4	25,4	2,19
6	6,52	10,02	6,75	1536,4	36,6	2,48
7	10,12	2,40	2,05	1528,2	31,0	2,09
8	8,15	13,91	14,00	1524,0	39,3	2,46
9	2,90	1,50	1,95	1486,9	14,1	0,92
10	7,30	4,30	7,30	1508,3	25,3	1,73
11	2,73	14,00	3,70	1496,7	17,8	2,31
12	13,85	6,89	12,55	1533,7	21,4	2,27

В качестве откликов приняты: $y_1 = C_к$ – скорость ультразвука; $y_2 = \delta_к$ - коэффициент поглощения; $y_3 = \gamma_к$ - электропроводимость; а в качестве факторов: $X1=k_{1\%}$ - концентрация сухих растворимых веществ; $X2=k_{2\%}$ - концентрация сухих нерастворимых веществ ; $X3=k_{3\%}$ - концентрация добавленного сахара.

Результаты исследования. В результате обработки данных экспериментальных исследований получена линеаризованная система уравнений, имеющей вид:

$$\left.\begin{aligned} C_{кi} &= 1510{,}8 + 1{,}97x_1 + 1{,}21x_2 + 0{,}94x_3 \\ \delta_{кi} &= 14{,}0 + 0{,}95x_1 + 0{,}16x_2 + 0{,}70x_3 \\ \gamma_{кi} &= 0{,}665 + 0{,}105x_1 - 0{,}198x_2 + 0{,}223x_3 \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Решением системы уравнений (1) получены следующие выражения для вычисления искомых концентраций каждого из компонентов исследуемой среды:

$$x_1 = -\,0{,}0010 \cdot C_к - 0{,}678 \cdot \delta_к + 16{,}98\,\gamma_к$$
$$x_2 = -\,0{,}0061 \cdot C_к + 0{,}890 \cdot \delta_к - 4{,}90\,\gamma_к \qquad (2)$$
$$x_3 = -\,0{,}0030 \cdot C_к + 0{,}223 \cdot \delta_к + 7{,}75\,\gamma_к$$

Уравнения (2) позволяют рассчитать значения концентраций, составляющих многокомпонентных жидких сред. Сравнительный анализ экспериментальных значений и значений концентраций, определенных расчетным путем по формулам (1) и (2), приведен в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Результаты сравнительной оценки экспериментальных и расчетных значений информативных параметров

Концентрация x_i, %	Информативный параметр								
	Значение скорости звука C_i, м/с			Значение коэффициента затухания δ_i, $с^{-1}$			Значение проводимости $\gamma_i \cdot 10^{-2}$, $Ом^{-1} \cdot см^{-1}$		
	Измеренное	Расчетное	Ошибка Δ, %	Измеренное	Расчетное	Ошибка Δ, %	Измеренное	Расчетное	Ошибка Δ, %
2	1529,7	1519,4	0,67	17,8	17,72	0,45	0,92	0,927	0,76
4	1535,4	1527,3	0,53	21,4	21,24	0,75	1,18	1,173	0,59
6	1541,1	1535,5	0,36	25,0	24,92	0,32	1,44	1,445	0,35
8	1546,8	1543,8	0,18	28,6	28,56	0,14	1,71	1,705	0,29
10	1552,5	1552,0	0,03	32,2	32,10	0,31	1,97	1,965	0,25
12	1558,2	1560,2	0,29	35,7	35,72	0,06	2,22	2,225	0,23
14	1563,9	1568,5	0,28	39,3	39,34	0,10	2,48	2,485	0,20

Из анализа результатов таблиц 2 и 3 следует, что погрешность между экспериментальными и расчетными значениями составляет от 0,03 до 0,76 %. Характерным является то обстоятельство, что с увеличением концентрации сухих растворимых веществ и добавленного сахара, определяемых по скорости звука и проводимости, ошибка уменьшается. Это свидетельствует о том, что погрешность носит мультипликативный характер, требующий проведения дополнительных уточняющих исследований.

Таблица 3 – Результаты сравнительной оценки экспериментальных и расчетных значений концентрации отдельных компонентов жидкой среды

Действительное значение концентраций x_i, %	Значение измеряемого параметра			Расчетные значения концентрация компонента k_i, %			Погрешность вычислений Δk_i, %		
	C_i, м/с	δ_i, $с^{-1}$	$\gamma_i \cdot 10^{-2}$, $Ом^{-1} \cdot см^{-1}$	$k_р$	$k_н$	$k_з$	$\Delta k_р$	$\Delta k_н$	$\Delta k_з$
2	1529,7	17,8	0,92	2,013	2,003	1,989	0,65	0,15	0,54
4	1535,4	21,4	1,18	3,990	3,988	3,971	0,25	0,30	0,73
6	1541,1	25,0	1,44	5,960	5,970	6,020	0,67	0,50	0,33
8	1546,8	28,6	1,71	8,013	7,930	8,013	0,17	0,93	0,16
10	1552,5	32,2	2,00	10,066	10,071	9,934	0,67	0,71	0,67
12	1558,2	35,7	2,27	12,102	11,930	11,886	0,56	0,58	0,95
14	1563,9	39,3	2,48	13,900	13,870	13,912	0,71	0,93	0,63

Кроме того, это указывает на то, что предложенный метод обладает большей чувствительностью с увеличением концентрации компонентов жидкой среды.

Процесс определения концентраций компонентов в жидких растворах может быть автоматизирован и ускорен при использовании ЭВМ при расчете выходных параметров.

Выводы. Анализ результатов проведенные экспериментальных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1) относительная ошибка определения концентрации компонентов в плодовом соке составляет 0,03... 0,95 %, что является вполне допустимой при инженерных расчетах;

3) процесс вычислений может быть автоматизирован при выводе данных измерений на ЭВМ;

4) предложенный метод одновременного измерения трех независимых выходных параметров (акустических и электрофизических), для определения концентрации составляющих трехкомпонентной жидкой среды, может быть положен в основу его технической реализации.

Публикация выполнена в рамках научной темы № FRRS-2023-0024 «Исследование воздействия электромагнитного и ультразвукового полей на продукты и материалы» государственного задания ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет».

Список использованных источников

1. Іноземцев Г.Б., Яковлев В.Ф., Козирський В.В. Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві: Навчальний посібник – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013 – 171 с.

2. Яковлєв В.Ф. Експерементальні дослідження сухих речовин в томатному соку акустичним методом / В.Ф. Яковлєв, Р.В. Кушлик, О.В. Микитенко // Праці Таврійської державної агротехнікної академії. Вип. 24. Мелітополь: ТДАТА, 2003. - С. 35-37.

3. Яковлев В.Ф. Электронно-акустическое устройство контроля содержания сухих веществ в плодовых соках / В.Ф. Яковлев, Е.А. Адоньев // Сборник научных трудов академии. – ТГАТА: Мелитополь, 1996. - Том 1. – С. 7-8.

4. Яковлев В.Ф. Ультразвуковой способ экспресс-анализа качества моторных масел / В.Ф. Яковлев, Р.В. Кушлык // Моделирование и автоматизация технологических процессов с.-х. производства : сб. науч. тр. – МИИСП. Москва, 1991. - С. 35-38.

5. Результаты экспериментальных исследований по контролю солесодержания воды для полива растений / Яковлев В.Ф., Стручаев Н.И., Щербаков С.В. // Материалы пула Международных научно-практических конференций / Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского; Керченский государственный морской технологический университет; Луганский государственный педагогический университет; Луганский государственный университет имени Владимира Даля / КГМТУ.- Керчь, 2024. – С. 564 – 569.

6. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1981. – 240с.

7. Котюк А.Ф. Датчики в современных измерениях. / А.Ф. Котюк. – М.: Радио и связь, 2006. – 96 с.

8. Математические методы обработки экспериментальных данных: учебное пособие / Г.Н. Кокурина; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2019. 123 с.

9. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высш.школа, 1980. – 293с.