

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ВИХІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ЇХ ЯКОСТІ

**Яковлев Валерій Федорович**

кандидат технічних наук, професор  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0001-5261-4432  
e-mail: VFJAKOV@gmail.com

*Забезпечення високої якості продукції сільськогосподарства, яка реалізується населенню, може бути досягнуто тільки при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів неруйнівного експресного контролю якісних ознак продукції в технологічних процесах. Тому наукові дослідження, які направлені на створення технічних систем, що забезпечують експресний неруйнівний контроль ступені стиглості та наявності внутрішніх пошкоджень, вище названих біологічних структур, є актуальними.*

*Найбільші труднощі виникають при контролі якісних ознак біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми (яблука, баштанні, томати, лимон, апельсин та ін.) в технологічному потоці (виробництва, переробки, зберігання), якість яких не завжди можливо визначити по зовнішньому стану продукту (наприклад, баштанні).*

*Серед великої кількості різних фізичних методів контролю, які можуть бути реалізовані у технічному засобі, найбільш перспективним є метод акустичного зондування, який дозволяє оцінювати якісні ознаки продукту по параметрам акустичного поля.*

*Матеріал, який наведено у даній статті, є результатом експериментальних досліджень, які спрямовані на перевірку основних параметрів електронно-акустичного пристрою визначення якості біологічних структур фіксованої геометричної форми (ЕАП), обраних на базі попередньо проведених теоретичних досліджень, а саме, на оцінку точності поділу об'єктів на фракції за параметрами сигналу післядії їх ударного збудження.*

**Ключові слова:** електронно-акустичний пристрій, параметри акустичного поля, ударне збудження, коефіцієнт загасання, амплітуда, частота, відносна похибка, адитивна похибка, середньоквадратичне відхилення, середньостатистичне значення.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2020.2.4>

**Постановка проблеми.** Одним із важливих питань успішної реалізації сільськогосподарської продукції, як було відмічено раніше, є забезпечення її якісних показників у період її зберігання та реалізації, що можливо при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів експресного контролю стану продукції, своєчасної вибраковки неякісних екземплярів. Одним із якісних ознак продукції фіксованої геометричної форми (яблука, баштанні, томати, лимон, апельсин та ін.) є ступінь стиглості та наявність внутрішніх пошкоджень, які не завжди можливо визначити тільки по зовнішньому стану оболонки.

Тому наукові дослідження, які направлені на створення технічних систем, що забезпечують експресний неруйнівний контроль ступені стиглості та наявності внутрішніх пошкоджень вище названих біологічних структур в процесі зберігання є актуальними [1, 2, 3].

Серед великої кількості різних фізичних методів контролю, які можуть бути реалізовані у технічному засобі, найбільш перспективним є метод акустичного зондування, який дозволяє оцінювати якісні ознаки продукту по параметрам акустичного поля [1, 2, 3, 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На підставі раніше проведених досліджень було обґрунтовано інформативні параметри, які характеризують вільні коливання біологічних структур фіксованої геометричної форми різного якісного стану при ударному їх збудженні (амплітуда, коефіцієнт загасання, частота), що дозволяє здійснити розподіл, вище названих структур, за якісними показниками [2, 3]. Результати цих досліджень було реалізовано в електронно-акустичному пристрої неруйнівного контролю якості біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми за кое-

фіцієнтом загасання сигналу післядії ударного збудження об'єкту (ЕАП), яке повинно забезпечувати необхідні агротехнічні вимоги, швидкість виконання закладених функцій, їх точність і достовірність.

Нові, більш сучасні, методи потребують нових технічних рішень як по технічним засобам взагалі, так і окремим складовим (окремим блокам) цих пристроїв, з метою підвищення точності і ефективності їх роботи. А це, в свою чергу, потребують проведення відповідних експериментальних досліджень та виробничих випробувань цих засобів для забезпечення відповідних умов їх проектування і технічної реалізації.

Вище викладене, визначає мету та основні задачі досліджень.

**Мета статті.** Висвітлення результатів експериментальних досліджень, які спрямовані на перевірку основних параметрів електронно-акустичного пристрою визначення якості біологічних структур фіксованої геометричної форми (ЕАП), перевірку виконання закладених функцій, їх точність і достовірність.

**Основні матеріали досліджень.** В результаті раніше проведених експериментальних дослідженнях [2, 3] було визначено інформативні параметри розподілу біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми різного ступеню стиглості при їх ударному збудженні, а також встановлено граничні значення цих параметрів. На базі цих досліджень було розроблено технічний засіб - електронно-акустичний пристрій неруйнівного експресного контролю якісних ознак вище названих біологічних об'єктів (ЕАП).

Експериментальні дослідження були спрямовані на перевірку основних параметрів електронно-акустичного

пристрою визначення якості біологічних структур фіксованої геометричної форми (ЕАП), а саме, виявлення впливу параметрів біологічних об'єктів на оцінку точності поділу об'єктів на фракції за параметрами сигналу післядії їх ударного збудження. При цьому було вирішено наступні задачі: розроблено принципову схему ЕАП; отримані експериментальні залежності між параметрами об'єкту контролю і вихідними сигналами ЕАП; експериментально визначена точність роботи ЕАП.

Як було відмічено вище, для проведення експериментальних досліджень було виготовлено макет пристрою (рисунок 1), в якому об'єкти дослідження (плоди баштанних) 2 кладуться на спеціально виготовлену підставу, що представляє собою короб, заповнений ґрунтовим матеріалом, на якому об'єкти знаходяться в природних умовах. В якості збудника ударного процесу в зразках використовується механічний блок 1 ЕАП. Прийом сигналу здійснюється вимірвальним перетворювачем 3.

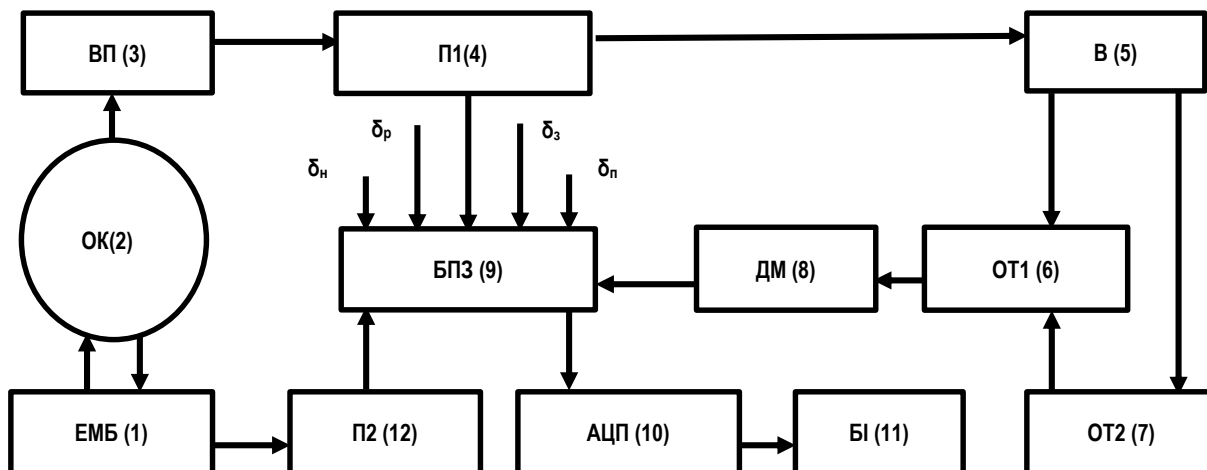


Рисунок 1 – Структурна схема електронно-акустичного пристрою контролю якісних ознак біологічних об'єктів (ЕАП):  
 1 – електромеханічний блок (ЕМБ); 2 – об'єкт контролю (ОК); 3 – вимірвальний перетворювач (ВП);  
 4,12 – підсилювачі (П1, П2); 5 – випрямляч (В); 6,7 – блоки обмеження тривалості сигналу (ОТ1, ОТ2);  
 8 – блок демодуляції сигналу (ДМ); 9 – блок вимірювання параметру загасання (БПЗ);  
 10 – аналого – цифровий перетворювач (АЦП); 11 – блок індикації (БІ)

Блок перетворення післядії ударного збудження в інформативний електричний сигнал про коефіцієнт загасання складається із блоків підсилення (вхідного 12 і вихідного 4), блоку випрямлення сигналу 5, блоків обмеження тривалості сигналу 6,7, блоку демодуляції 8, вимірювача параметру загасання 9, аналого – цифрового перетворювача 10 та блоку індикації якісного стану об'єкту контролю 11.

Дослідження вихідного сигналу, вимірювання його амплітуди, тривалості та форми проводилися за допомогою калібратора двохпроменевого осцилографа СІ-55. Вибір величини опорної напруги компараторів проводився в ста-

тичному режимі. Величини опорних напруг компараторів обрані рівними  $U_{от1} = 2,72$  В і  $U_{от2} = 1,00$  В, що забезпечує надійне визначення параметра загасання для об'єктів різних фракцій за якістю. Залежності

вихідних сигналів окремих блоків ЕАП, а також точність визначення цих параметрів проводилися для об'єктів різних фракцій по зрілості і різних розмірів (мінімальний, середній, максимальний), в кількості 20 зразків кожної фракції. Вихідні сигнали ЕАП вимірювалися за допомогою осцилографа, з десятиразовою повторністю. Результати статистичної обробки вихідних сигналів ЕАП наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати експериментальних досліджень вихідних сигналів ЕАП в залежності від розміру та параметру загасання об'єктів (стигла фракція)

$D \cdot 10^{-3}, \text{ м}$	$T_{\text{мі}} \cdot 10^{-6}, \text{ с}$	$\sigma_{\tau} \cdot 10^{-6}, \text{ с}$	$\gamma_{\text{уд}}, \%$	$\delta, \text{ с}^{-1}$	$\Sigma \Delta t_{\text{тез}} \cdot 10^{-6}, \text{ с}$	$\sigma_{\tau} \cdot 10^{-6}, \text{ с}$	$\gamma_{\text{уд}}, \%$
250	5,00	0,10	4,10	30,1	715	33,0	9,25
246	4,82	0,13	5,17	31,6	678	27,7	8,16
242	4,64	0,16	6,95	33,0	661	30,7	9,31
237	4,53	0,15	6,47	33,9	632	25,3	8,01
232	4,47	0,13	5,95	35,3	618	24,5	7,92
224	4,40	0,16	7,10	36,9	589	22,4	7,60
218	4,36	0,12	5,57	38,5	574	22,0	7,65
211	4,31	0,17	8,02	39,4	553	20,1	7,28
205	4,28	0,14	6,32	40,8	541	18,9	6,97
200	4,25	0,09	4,12	41,3	527	17,8	6,82
194	4,22	0,17	7,83	41,9	520	17,8	6,85
188	4,23	0,15	7,23	42,6	518	19,0	7,33
182	4,20	0,15	6,89	43,3	510	18,4	7,22
177	4,19	0,17	8,00	44,1	491	17,3	7,04
172	4,17	0,17	8,33	45,0	488	18,3	7,50
166	4,17	0,19	9,00	46,0	481	17,9	7,42

$D \cdot 10^{-3}, \text{ м}$	$T_{\text{гп}} \cdot 10^{-6}, \text{ с}$	$\sigma_{\tau} \cdot 10^{-6}, \text{ с}$	$\gamma_{\text{UD}}, \%$	$\delta, \text{ с}^{-1}$	$\Sigma \Delta T_{\text{ie}\Sigma} \cdot 10^{-6}, \text{ с}$	$\sigma_{\tau} \cdot 10^{-6}, \text{ с}$	$\gamma_{\text{U}\delta}, \%$
161	4,15	0,16	8,00	47,1	463	16,7	7,21
155	4,13	0,17	8,25	48,3	457	16,6	7,27
150	4,12	0,13	6,21	50,7	430	15,5	7,22
148	4,10	0,16	7,67	53,1	411	14,4	7,02

де  $\delta$ , - коефіцієнт загасання,  $\text{с}^{-1}$ ;  $D$  - середній діаметр зразка, м;  $T_{\text{гп}}$  - середнє значення періоду прямокутних рахункових імпульсів, с;  $\Sigma \Delta T_{\text{ie}\Sigma}$  - середнє значення часу, яке дорівнює різниці імпульсів компараторів по задньому фронту, с;  $\sigma_{\tau}$ ,  $\sigma_{\tau}$  - середнє квадратичне відхилення середньої

величини  $T_{\text{гп}}$  і  $\Sigma \Delta T_{\text{ie}\Sigma}$ , відповідно, с;  $\gamma_{\text{U}\delta}$  - відносна похибка, відповідного вихідного сигналу, %.

Залежності середньостатистичних значень вихідних сигналів ЕАП від параметра загасання і розмірів зразків наведені на рисунку 1.

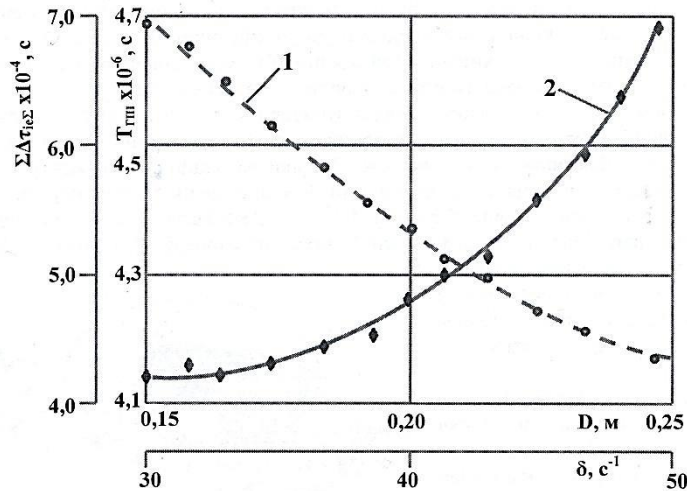


Рисунок 1 - Залежність вихідного сигналу ЕАП від коефіцієнта загасання (1) і розміру зразка (2): 1 -  $\Sigma \Delta T_{\text{ie}\Sigma} = f(\delta)$ ; 2 -  $T_{\text{гп}} = f(D)$

Із отриманих даних слідує, що вихідні сигнали ЕАП об'єктивно пропорційні параметру загасання та пропорційні діаметру зразка. По середньостатистичним значенням та середньоквадратичним відхиленням вихідних сигналів розраховані величини відносних похибок визначення параметру загасання і розміру зразків [5, 6]:

$$\gamma_{\Sigma \text{ЕАП}} = \frac{2\sigma_N}{N} \quad (1)$$

де  $\gamma_{\Sigma \text{ЕАП}}$  - сумарна відносна похибка;  $\sigma_N$  - середнє квадратичне відхилення вихідного сигналу;  $N$  - цифровий код на виході ЕАП.

Аналіз зміни відносних похибок ЕАП при зміні діаметра зразка від 0,15 м до 0,25 м показує, що зі збільшенням діаметру величина відносної похибки змінюється несуттєво, а для параметру загасання зі збільшенням його значення до  $41 \text{ с}^{-1}$  - зменшується в 1,4 рази і при подальшому збільшенні змінюється несуттєво.

Величини відносних похибок вихідних сигналів, наряду з похибками окремих блоків ЕАП, залежать від зовнішніх адитивних перешкод, які обумовлені відмінністю форм зразків від сфери, нестабільністю зусилля притискання датчика, нестабільністю площини контакту поверхні датчика із-за відмінної кривизни поверхні зразка.

Знання значень відносних похибок блоків ЕАП та загальної похибки визначення вихідних сигналів ЕАП, пропорційних параметру загасання та розмірам зразків, дозволяє визначити похибку, яка вноситься адитивними перешкодами [5, 6]:

$$\gamma_{\text{аді}} = \sqrt{\gamma_{\text{U}\delta}^2 - \gamma_{\Sigma \text{ЕАП}}^2} \quad (2)$$

де  $\gamma_{\text{аді}}$  - відносна похибка, яка обумовлена адитивними перешкодами і -го параметру, зовні;  $\gamma_{\text{U}\delta}$  - загальна відносна похибка вихідних електричних сигналів, пропорційних

i - му параметру;  $\gamma_{\Sigma \text{ЕАП}}$  - відносна похибка блоків ЕАП по i - му параметру.

Експериментальні дослідження характеристики блоку визначення розміру зразків і блоку визначення параметра загасання проводилося за допомогою генератора стандартних сигналів (ГСС) та виготовленого електронного імітатора експоненціально загасаючих коливань з відомими параметрами сигналів (тривалістю імпульсів  $\tau$ , періодом повторення, частотою коливань, коефіцієнтом загасання, амплітудою).

Експериментальні дослідження блоків ЕАП показали, що принцип дії і елементна база блоків ЕАП забезпечує можливість визначення розмірів та параметру загасання зразків з необхідною точністю, а також мають стабільні у часі характеристики. Відносні похибки блоків ЕАП складають: при визначенні діаметру зразка - 2,30...3,05 %; при визначенні параметру загасання - 3,60...4,12 %; сумарна відносна похибка при визначенні якісного стану об'єктів контролю - 4,27...5,13 %.

Так як вихідний параметр ЕАП (кількість імпульсів  $N$ ) залежить від параметру загасання і розміру об'єкта (див. таблицю 2), загальна сумарна адитивна похибка ЕАП буде

визначатися виразом [5, 6]:

$$\gamma_{\Sigma адN} = \sqrt{\gamma_{адD}^2 - \gamma_{ад\delta}^2} \quad (3)$$

де  $\gamma_{\Sigma адN}$  - сумарна відносна адитивна похибка при вимірюванні якості зразка, %;  $\gamma_{адD}$  - адитивна відносна похибка при вимірюванні діаметру зразка, %;  $\gamma_{ад\delta}$  - адитивна відносна похибка при вимірюванні параметра загасання, %.

ка при вимірюванні діаметру зразка, %;  $\gamma_{ад\delta}$  - адитивна відносна похибка при вимірюванні параметра загасання, %.

Із наведених у таблиці 2 даних слідує, що величина похибок, які обумовлено зовнішніми адитивними перешкодами у, 1,5 та більше рази вище максимальних значень похибок, що вносяться електроакустичним пристроєм.

Таблиця 2 - Значення відносних та сумарних похибок вихідних сигналів ЕАП при визначенні розміру, параметра загасання і кількості імпульсів при оцінці якості об'єктів

Вимірний параметр	Значення похибок, %					
	$\gamma_{\text{ш}}i$			$\gamma_{\text{ад}i}$		
	min	середнє	max	min	середнє	max
Середній діаметр, D	4,10	6,89	9,00	3,39	6,38	8,47
Коефіцієнт загасання, $\delta$	6,82	7,56	9,31	5,79	6,50	8,35
Значення сумарних похибок вихідного сигналу ЕАП, %						
	$\gamma_{\Sigma UN}$			$\gamma_{\Sigma адN}$		
Кількість імпульсів, N	7,96	10,23	12,95	6,71	9,11	11,89

### Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження блоків ЕАП показали, що принцип дії і елементна база блоків ЕАП забезпечує можливість визначення розмірів та параметру загасання зразків з необхідною точністю, а також мають стабільні у часі характеристики. Відносні похибки блоків ЕАП складають: при визначенні діаметру зразка - 2,30...3,05 %; при визначенні параметру загасання - 3,60...4,12 %; сумарна відносна похибка при визначенні якісного стану об'єктів контролю - 4,27...5,13 %.

2. Встановлено також, що величини відносних похибок вихідних сигналів, наряду з похибками окремих блоків ЕАП, залежать від зовнішніх адитивних перешкод, які обумовлені відмінністю форм зразків від сфери, нестабільністю зусилля притискання датчика, нестабільністю площини контакту поверхні датчика із-за відмінної кривизни поверхні

зразка. Величина цих похибок у 1,5 та більше рази вище максимальних значень похибок, що вносяться електроакустичним пристроєм.

3. Зміни відносних похибок ЕАП при зміні діаметра зразка від 0,15 м до 0,25 м показує, що зі збільшенням діаметру величина відносної похибки змінюється несуттєво, а для параметру загасання зі збільшенням його значення до 41 с<sup>-1</sup> - зменшується в 1,4 рази і при подальшому збільшенні змінюється несуттєво.

4. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження свідчать про те, що отримані емпіричні та теоретичні математичні моделі запропонованого електронно-акустичного пристрою можуть бути використані для кількісної оцінки впливу відхилення параметрів блоку на його вихідні характеристики з достатньою ступеню точності та для оптимізації блоку по любому із вихідних параметрів.

### Список використаної літератури:

1. Іноземцев Г.Б., Яковлев В.Ф., Козирський В.В. Застосування акустичних технологій в агарному виробництві: Навчальний посібник -К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013. - 171 с.: іл..
2. Яковлев В.Ф. Експериментальні дослідження процесу трансформації ударного імпульсу через біологічні об'єкти фіксованої геометричної форми/ В.Ф. Яковлев // Вісник СНАУ Науковий журнал. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». Вип.1-2 (35-36), 2019 – с. 30 – 35
3. Яковлев В.Ф. Визначення якості сільськогосподарської продукції методом акустичної емісії / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 164 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. - Харків: ХНТУСГ. - 2015.- С..75 - 77.
4. The acoustic control of fruit damage V.F. Jakovlev, I.P. Nazarenko, M.V. Yakovleva, A.N. Terekhov (Tavrijskaja Derčavna Agrotehnična Arademija w. Melitopolu (Ukraine). Sistemy mikropro-cesorowe wrolnictwte . 2nd conference on mickroprocessor systems in acgriculture. Conference materials. 18...19 September 1997, Plock, Poland. с.113-117.
5. Технологія наукових досліджень енергетичних систем в агарному виробництві: Навчальний посібник. / Г.Б. Іноземцев, В.В.Козирський. За редакцією Г.Б. Іноземцева. – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 198 с.
6. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля.- М.: Машиностроение, 1981. - 240с.

**Yakovlev V. F.,** Sumy National Agrarian University (Ukraine)

### **Experimental studies of the influence of the parameters of biological objects on the output characteristics of their quality control device**

*Ensuring the high quality of agricultural products sold to the population can only be achieved with the widespread introduction of modern methods and technical means of non-destructive express control of quality features of products in technological processes. Therefore, scientific research aimed at creating technical systems that provide express non-destructive control of the degree of maturity and the presence of internal damage to the above biological structures are relevant.*

*The greatest difficulties arise when controlling the qualitative features of biological objects of a fixed geometric shape (apples, melons, tomatoes, lemon, orange, etc.) in the technological flow (production, processing, storage), the quality of which is not always possible to determine by the external state of the product (for example, melons).*

*Among the large number of different physical control methods that can be implemented in a technical device, the most promising is the method of acoustic sounding, which makes it possible to evaluate the qualitative characteristics of a product by the parameters of the acoustic field.*

*The material presented in this article is the result of experimental studies aimed at checking the main parameters of an electronic-acoustic device for determining the quality of biological structures of a fixed geometric shape (EAP), selected on the basis of preliminary theoretical studies, namely, to assess the accuracy of separating objects into fractions by the parameters of the aftereffect signal of their shock excitation.*

**Key words:** *electronic-acoustic device, acoustic field parameters, impact excitation, attenuation coefficient, amplitude, frequency, relative error, additive error, standard deviation, average statistical value.*

Дата надходження до редакції: 19.09.2020 р.