

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСФОРМАЦІЇ УДАРНОГО ІМПУЛЬСУ ЧЕРЕЗ БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ ФІКСОВАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

**Яковлев Валерій Федорович**

кандидат технічних наук, професор  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5261-4432>  
e-mail: VFJAKOV@gmail.com

*Успішна реалізація продукції сільськогосподарства вимагає дотримання вимог стандартів по забезпеченню її високої якості, забезпечення технологічного процесу (виробництва, переробки, зберігання) достатнім рівнем якісних ознак початкової сировини, контролем якості продукції на проміжних і кінцевих операціях. Такі якісні ознаки продукції, особливо фіксованої геометричної форми, як ступень стиглості, наявність та глибина розташування пошкоджень, не завжди можливо визначити по зовнішньому стану продукту (наприклад, баштанні) без його руйнування.*

*Для оцінки якісних і кількісних ознак сільськогосподарської продукції застосовуються різні фізичні методи, з великого числа яких, особливе місце займає метод акустичного зондування, який полягає в тому, що властивості продуктів (як біологічних об'єктів), що визначають збудження і поширення пружних коливань, тісно пов'язані з їх анатомічною структурою і фізико-біохімічними характеристиками, які в свою чергу, змінюються в процесі їх вегетації при досягненні відповідного ступеню стиглості.*

*Наведений матеріал представляє результати експериментальних досліджень по встановленню зв'язків параметрів післядії ударного збудження біологічних об'єктів рослинного походження фіксованої геометричної форми з їх якісними ознаками, визначенню інформативних ознак та їх кількісних значень, що в свою чергу, дає можливість технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якісних ознак сільськогосподарської продукції.*

**Ключові слова:** акустичне зондування, параметри акустичного поля, ударне збудження, амплітудно-частотний спектр коливань, коефіцієнт поглинання, частота, мода коливань, асиметрія, ексцес.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.6>

**Постановка проблеми.** Дотримання вимог стандартів на продукцію сільськогосподарства забезпечує її успішну реалізацію. Такі якісні ознаки продукції, особливо фіксованої геометричної форми, як ступень стиглості, наявність та глибина пошкоджень, не завжди можливо визначити по зовнішньому стану продукту (наприклад, баштанні) без його руйнування. Особливо важко визначати названі ознаки в технологічному потоці, що призводить до значних втрат часу, знижує продуктивність та збільшує собівартість кінцевого продукту. Позитивне вирішення цієї задачі можливо лише при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів неруйнівного експресного контролю стану продукції. Як було відмічено раніше, одним із раціональних методів, які забезпечують експресний неруйнівний контроль вище названих якісних ознак біологічних структур фіксованої геометричної форми є метод акустичного зондування [1,2,3].

У зв'язку з цим виникає необхідність проведення теоретичних та експериментальних досліджень і встановлення, на їх підставі, взаємозв'язку між параметрів акустичного поля та якісними ознаками продуктів фіксованої геометричної форми.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Цілий ряд вчених внесли суттєвий вклад в дослідження, які пов'язані із застосуванням акустичних методів контролю, досліджень по вивченню взаємозв'язків якісних і кількісних ознак сільськогосподарських продуктів з параметрами акустичного поля [1,3,4, 5, 6, 7]. Але, з часом, з'являються нові, більш сучасні методи, які потребують нових технічних рішень та проведення відповідних експериментальних досліджень по встановленню взаємозв'язку між параметрів акустичного поля та якісними ознаками продуктів.

Аналіз наведених в джерелах інформації результатів

досліджень свідчить проте, що незважаючи на велику кількість робіт, які присвячені пошуку методів та розробці електроакустичних систем неруйнівного експресного аналізу якості сільськогосподарської продукції, а саме визначення стиглості біологічних об'єктів рослинного походження, більшість з них не має глибоких теоретичних проробок, які б дозволяли з єдиних позицій підійти до питань проектування названих систем, прогнозувати отримання визначеного технічного або економічного ефекту, систематизувати та уніфікувати систему технічних засобів експрес-контролю.

Все вище викладене потребує більш глибокого дослідження зв'язку між якісними ознаками, а саме визначення стиглості продуктів фіксованої геометричної форми і параметрами акустичного зондування, визначає мету та основні задачі досліджень.

**Формулювання мети статті.** Робота направлена на встановлення залежностей між параметрами акустичного зондування і якісними ознаками

біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми, визначення інформативних ознак та їх кількісних значень.

**Основні матеріали досліджень.** Необхідність розробки технічних засобів контролю якісних ознак та систем обробки продуктів, а саме електроакустичних систем, їх об'єм та область застосування диктується вимогами технології виробництва того чи іншого виду продукції [7]. При дослідженнях, які базуються на механіко-математичному опису задачі о вільних коливаннях об'єкту контролю при ударному збудженні, для отримання первинної кількісної інформації, щодо параметрів моделі та її конкретизації, було проведено відповідні експериментальні дослідження. У зв'язку з цим та з урахуванням поставлених задач програмою експериментальних досліджень передбачено:

- спектральний аналіз вихідного сигналу (визначення

амплитуд, частот, коефіцієнту поглинання складових вільних коливань об'єкту);

- обґрунтування інформативних параметрів післядії ударного збудження об'єкту, які характеризують його якість.

Дослідження проводились для об'єкту (кавуна) наступних фракцій по ступеню зрілості: незрілі, недозрілі, зрілі, перезрілі. Для дослідження параметрів післядії ударного збудження плодів було розроблено пристрій відтворення ударного імпульсу в об'єкті контролю, опис якого наведено в [8].

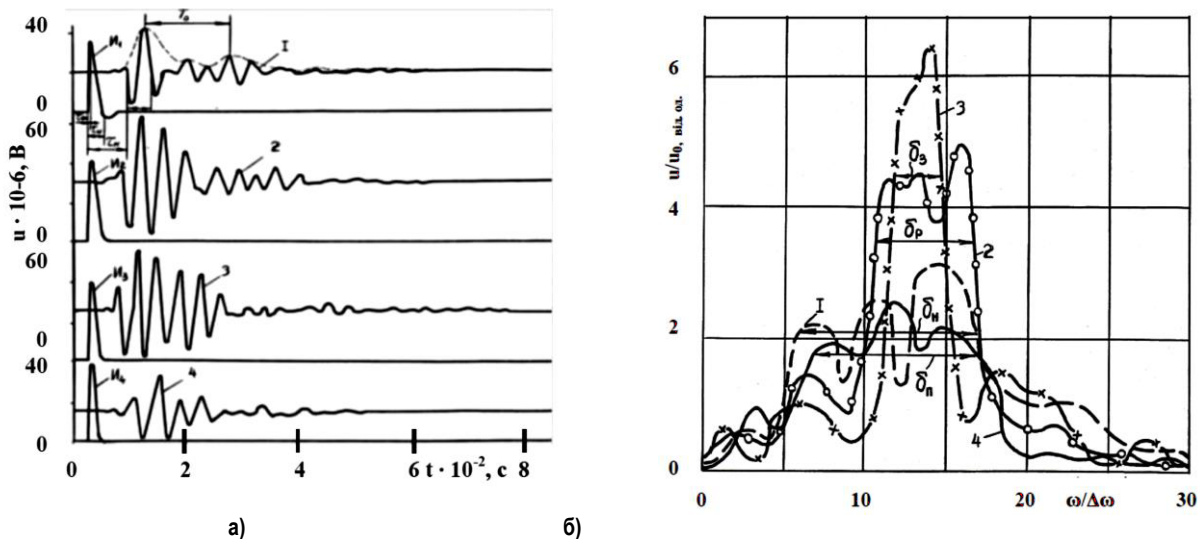
З урахуванням того, що плод є складною біологічною системою з наперед невідомою кількістю ступенів вільності, отримати кінцеві залежності важко. Тому, найбільш доцільним методом дослідження процесу трансформації ударного імпульсу через об'єкт контролю є спектральний метод [8].

Для порівняння між собою параметрів об'єкту контролю різних фракцій по якості, а також в межах однієї фракції дослідження проводились в деяких стандартних умовах, до яких відносяться: початкові умови та характер зовнішньої дії. За початкові умови об'єкту контролю прийнято стан покою,

тобто нульові початкові умови. Зовнішня дія представляє собою одиночний імпульс тривалістю  $t_u$ .

Параметри вихідного сигналу при трансформації ударного імпульсу через плід залежать від параметрів вхідної дії та фізичного стану об'єкту контролю. У зв'язку з тим, що при дослідженні було стабілізовано параметри ударної дії, характер вихідного сигналу та імпульсу збудження будуть визначатися фізичними властивостями плодів. Крім того, для отримання необхідної стабільності і достовірності результатів дослідів експериментальні зразки плодів підбиралися порівняно однаковими по розмірам, відповідно максимальному, середньому і мінімальному для кожної фракції по якості.

На рисунку 1 наведено сукупності характерних форм вхідних та вихідних сигналів, а також частотні спектри післядії ударного збудження плодів різних фракцій по зрілості з урахуванням їх розмірних характеристик для сорту Астраханський (для зразка D- 0,20 м).



а) б)  
Рисунок 1 - Форми вхідних та вихідних сигналів плодів при їх ударному збудженні: а - ударного імпульсу  $u$  та вільні коливання плодів; б - амплітудно-частотний спектр коливань плодів (D=0,20 м): 1 - незрілі, 2 - недозрілі, 3 - зрілі, 4 - перезрілі

Як видно із рисунку 1, коливання є експоненціально загасаючими, низькочастотними з невеликою амплітудою. Характер кривих післядії ударного збудження плодів для різних фракцій по якості та при однакових розмірно-масових характеристиках в значній мірі відрізняються між собою (рисунок 1а). Амплітуда цих коливань не перевищує величини  $U_{max} = 65 \times 10^{-6}$  В при заданих параметрах п'єзоприймачів та підсилюючої апаратури.

При цьому було також проведено статистичний аналіз отриманих результатів: визначено закон розподілу вибіркового даних спостережень по значенням асиметрії та ексцесу, різницю вибіркового середнього значень для визначених параметрів спостережень, їх похибки і довірчі границі відхилень та інші статистичні показники, які наведено у таблицях 1...4.

Для отримання кількісної оцінки післядії ударного збудження плодів вихідні сигнали об'єктів контролю було розкладено у ряд Фур'є та визначено сукупність частот, їх амплітуд, початкових фаз, які апроксимують дані сигнали (рисунок 1 б). Параметри спектрального розкладу визначалися за

виразами, згідно [8, 9]:

$$A_j = \frac{2}{m} c \sum_{k=0}^{m-1} y_k \cos j\omega_{1i} t_k \quad (1)$$

$$B_j = \frac{2}{m} \sum_{k=0}^{m-1} y_k \sin j\omega_{1i} t_k \quad (2)$$

$$A_0 = \frac{1}{m} \sum_{k=0}^{m-1} (-1)^k y_k \quad \varphi_j = \arctg \frac{A_j}{B_j} \quad \text{при} \quad n \leq \frac{m}{2}$$

де  $m$  - кількість значень аргументу ;

$k = 0, 1, 2 \dots m - 1$

$y_k - k$  - е значення функції;

$\omega_{1i}$  - частота першої гармоніки  $i$ -ої фракції стиглості, с;

$t_k$  - поточне значення аргументу, с;

$\varphi_j$  - початкова фаза  $j$ -ої гармоніки.

Аналіз амплітудно-частотного спектру та даних таблиці 1 дозволило виділити характерні резонансні частоти та їх амплітуди для плодів кожної фракції з урахуванням їх розміру – масових характеристик. Із рисунку 1 б видно, що незріла і перезріла фракції мають три явно виражені піки в амплітудно – частотному спектрі, незрілі плоди мають два піки, а зрілі – один пік. При цьому амплітуди резонансних частот збільшуються з поліпшенням якісних показників плодів,

тобто при їх дозріванні, і мають максимальне значення для зрілої фракції. Зі зміною якісних показників плодів в бік дозрівання спектр становиться більш вузькополосним. Встановлено також, що для середнього зразка значення частот які відповідають характерним резонансним пікам у спектрі, для плодів різної якості розподіляються наступним чином: незрілі -  $\omega_{1n} = 781...839 \text{ c}^{-1}$ ; незрілі -  $\omega_{1p} = 1269...1278 \text{ c}^{-1}$ ; зрілі -  $\omega_{13} = 1342...1360 \text{ c}^{-1}$ ; перезрілі -  $\omega_{1n} = 715...940 \text{ c}^{-1}$ .

Таблиця 1 – Статистичні параметри оцінки різниці середніх складових частот та відповідних до них амплітуд коливань біологічних об'єктів різних фракцій по якості при акустичному зондуванні (сорт Астраханський, середній плід)

Найменування різниці середніх значень	Мода резонансної частоти, $\omega_i$	Довірчі границі визначення різниці середніх значень		Відносна похибка визначення середніх значень		Достовірність	
		По частоті $d_{\omega_i-\omega_k}, \text{ c}^{-1}$	По амплітуді $(d_{U_i-U_k}) \cdot 10^{-6}, \text{ В}$	По частоті $C_{S_{\omega_i}}, \%$	По амплітуді $C_{S_{U_i}}, \%$	$d_{\omega}$	$d_U$
Зрілі - незрілі	$\omega_3$	$25 \pm 87,2$	$25,35 \pm 2,28$	-	4,50	-	+
Зрілі - незрілі	$\omega_3$	$260 \pm 105,0$	$14,95 \pm 2,52$	20,2	8,43	+	+
Зрілі - перезрілі	$\omega_3$	$86 \pm 105,4$	$30,05 \pm 2,16$	61,3	3,60	-	+
Незрілі - незрілі	$\omega_3$	$235 \pm 91,6$	$10,40 \pm 1,86$	19,5	8,94	+	+
Незрілі - перезрілі	$\omega_3$	$111 \pm 92,2$	$4,70 \pm 1,32$	41,5	14,04	+	+
Недозрілі - перезрілі	$\omega_3$	$346 \pm 109,2$	$15,10 \pm 1,72$	15,8	5,70	+	+
Незрілі - незрілі	$\omega_2$	$139 \pm 95,0$	$10,86 \pm 1,78$	34,2	8,20	+	+
Незрілі - перезрілі	$\omega_2$	$23 \pm 97,6$	$13,49 \pm 1,12$	-	4,15	-	+
Недозрілі - перезрілі	$\omega_2$	$227 \pm 109,2$	$22,10 \pm 1,64$	24,1	3,71	+	+
Незрілі - перезрілі	$\omega_1$	$101 \pm 75,4$	$11,72 \pm 1,40$	37,3	5,97	+	+

де  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  – відповідні моди вільних коливань (перша, друга, третя)

Розподіл визначених параметрів по значенням асиметрії ( $As_{\omega_i}, As_{u_i}$ ) і ексцесу ( $Ex_{\omega_i}, Ex_{u_i}$ ) мають відхилення від нормального закону розподілу. Але ці відхилення незначні, що дозволяє прийняти закони розподілу даних параметрів для кожної фракції як нормальні. Різниця вибірових середніх значень частот визначається за [9,10]:

$$d_{i-k} = |\overline{\omega_i} - \overline{\omega_k}| \quad (3)$$

де  $d_{i-k}$  - різниця вибірових середніх значень частоти між  $i$ -ою та  $k$ -ою фракціями по якості,  $\text{c}^{-1}$ ;

$\overline{\omega_i}, \overline{\omega_k}$  - середнє значення частот  $i$ -ої та  $k$ -ої фракцій, відповідно,  $\text{c}^{-1}$ .

Похибка різниці середніх визначається за виразом [9,10]:

$$\overline{\sigma_d} = \sqrt{\overline{\sigma_i^2} + \overline{\sigma_k^2}} \quad (4)$$

де  $\overline{\sigma_i^2}, \overline{\sigma_k^2}$  - похибка середніх значень  $i$ -ої та  $k$ -ої фракцій, відповідно,  $\text{c}^{-1}$ ;  $\overline{\sigma_i} = \sigma_i / \sqrt{n}$ ;

Критерій достовірності цих різностей:

$$t_d = \frac{d_{i-k}}{\overline{\sigma_d}} \quad (5)$$

Визначені також довірчі границі оцінки різниці середніх:

$$\Delta_d = t_{st} \overline{\sigma_d} \quad (6)$$

де  $t_{st}$  - критерій Стюдента.

Відносна похибка визначення різниці середніх [9,10]:

$$Cs_d = \frac{\overline{\sigma_d}}{d_{i-k}} \cdot 100 \quad (7)$$

де  $Cs_d$  - відносна похибка різниці середніх значень частот

однорічних мод коливань між  $i$ -ою та  $k$ -ою фракціями

за якістю, %.

У ряді випадків, а саме, різниці між максимальною резонансною частотою ( $\omega_3$ ) зрілої фракції та найближчими резонансними частотами інших фракцій (зрілі – незрілі, зрілі – перезрілі), між фракціями незрілі – перезрілі, незрілі – перезрілі на середній резонансній частоті ( $\omega_2$ ) і незрілими – перезрілими низької резонансної частоти ( $\omega_1$ ) є недостовірними.

Крім того, похибка визначення різниці середніх між резонансними частотами у більшості випадків дуже значна та коливається в широких межах

(15,8...61,3%), що вказує на низьку інформативність

даного признака про якісний стан плодів; довірчі границі визначення різниці середніх в окремих випадках перекривають значення самої різниці, що також передбачає низьку інформативність даного параметра.

Суттєвим, у даному випадку, є відмінність між кількістю резонансних частот у спектрі коливань плодів при ударному збудженні в залежності від їх якісного стану, що може бути покладено в основу критерію оцінки їх якості.

При дослідженні частотного спектру невід'ємним є амплітудний параметр, який визначає максимуми та мінімуми в енергетичному спектрі коливань. Статистичні параметри оцінки вибірових середніх і різниці середніх значень частот та відповідних до них амплітуд, як між фракціями, так і в межах кожної фракції, показує, що:

- значення амплітуд резонансних частот спектру коли-

вань плодів різних фракцій розподілені по нормальному закону, є достовірними, похибка при визначенні даного параметра складає 1,83...3,21%;

- найбільш суттєвим, в енергетичному відношенні, є резонансна частота зрілої, а потім недозрілої фракцій;

- амплітуди складових частот спектрів коливань в залежності від якісного стану плодів змінюється в широких межах (8,5... 65,0 x10<sup>-6</sup> В);

- різниця амплітудних значень на відповідних резонансних частотах для плодів різних фракцій є несуттєвим, що свідчить про неможливість застосування даного критерію при розділі плодів по ступеню їх зрілості.

При вивченні спектру коливань плодів було проведено

дослідження по визначенню значень коефіцієнта поглинання цих коливань. Інформація про кількісну оцінку цього параметра знімалась з амплітудно – частотного спектру.

Коефіцієнт поглинання (втрати) визначався як ширина спектру для даної фракції на рівні зрізу, що дорівнює 0,707 мінімальної амплітуди із сукупності явно виражених резонансних піків (рисунок 1 б).

Результати свідчать, що значення коефіцієнта загасання змінюються в широких межах в залежності від якості плоду та від його розмірних характеристик. Варіювання складає 6,6...18,6%. Найбільш широкий розмах мають перезрілі плоди (138,5...210,7 с<sup>-1</sup>).

Таблиця 2 – Статистичні параметри оцінки вибіркового середнього коефіцієнта поглинання біологічних об'єктів різних фракцій по якості при акустичному зондуванні (сорт Астраханський)

Ступінь зрілості	Діаметр зразка, D <sub>i</sub> , м	Довірчі границі визначення середніх значень	Відносна похибка визначення середніх значень	Досто-вірність
Незрілі	0,15	151,6 ± 3,41	1,12	+
	0,20	136,5 ± 4,20	1,53	+
	0,25	116,3 ± 3,15	1,36	+
Недозрілі	0,15	105,5 ± 3,19	1,51	+
	0,20	85,4 ± 3,47	2,03	+
	0,25	66,3 ± 2,32	1,75	+
Зрілі	0,15	46,8 ± 2,74	2,92	+
	0,20	39,2 ± 2,17	2,76	+
	0,25	28,9 ± 1,59	2,92	+
Перезрілі	0,15	210,7 ± 4,94	1,17	+
	0,20	171,7 ± 5,19	1,51	+
	0,25	138,5 ± 4,94	1,78	+

Розподіли даного параметра, про що свідчать значення асиметрії ( $As_6$ ) та ексцесу ( $Ex_{\omega i}$ ), відхиляються від нормального, але не перевищують значень  $As_6/K_3 > 3$  та  $Ex_6/K_4 > 3$ . Тому, згідно [9, 10] закон розподілу для кожної із фракцій прийнято нормальним. Також як і для амплітудно – частотних параметрів, було проведено статистичну оцінку вибіркового середнього коефіцієнта поглинання кожної якісної фракції з урахуванням розмірів плодів: мінімального - 0,15 м, середнього - 0,20 м, максимального - 0,25 м. Дані наведено у таблиці 2.

Похибка при оцінці середніх складає 1,12...2,92%. Як видно із таблиці межі зміни та середні значення коефіцієнта поглинання зменшуються при збільшенні розмірів і поліпшенні якості плодів. Межі зміни даного параметра достатньо широкі та перекриваються між фракціями, основною причи-

ною чого є вплив розмірних показників на коефіцієнт загасання. Але, якщо розглядати зміни цього признака при постійних розмірах, то його значення будуть вже залежать від якісного стану плоду.

В цьому зв'язку було визначені статистичні показники різниці середніх значень коефіцієнта поглинання між різними фракціями при постійних розмірах. Для середнього зразка сорта Астраханський порівняльна оцінка наведена у таблиці 3. Розрахунок проведено по методики [9, 10] і формулам (3)...(7).

Аналіз цих результатів (табл. 3) свідчить про те, що різниця середніх значень коефіцієнта поглинання між плодами різної якості суттєві та достовірні та, що цей показник може бути визначено, як інформативний та покладений в основу способу виділення стандартної фракції та розділу плодів на фракції по якості.

Таблиця 3 – Статистичні параметри оцінки різниці середніх значень коефіцієнта поглинання коливань біологічних об'єктів різних фракцій по якості при акустичному зондуванні

Найменування різниці середніх значень (для D = 0,2 м)	Мода коливань	Довірчі границі визначення різниці середніх значень	Відносна похибка визначення середніх значень	Досто-вірність
Зрілі - незрілі	01	97,4 ± 4,75	2,44	+
Зрілі - недозрілі	01	46,2 ± 4,11	4,45	+
Зрілі - перезрілі	01	132,5 ± 5,64	2,13	+
Незрілі - недозрілі	01	51,2 ± 5,45	5,32	+
Незрілі - перезрілі	01	35,1 ± 6,69	9,52	+
Недозрілі - перезрілі	01	86,3 ± 6,24	3,62	+

Похибка оцінки різниці середніх (крім різниці незрілі – перезрілі) складає 2,13...5,32 %, що в повній мірі може задовільнити потреби виробництва. Невисока точність розділу незрілої та перезрілої фракцій (похибка 9,52 %) пояснюється близькістю параметрів плодів цих фракцій. Але з урахуванням того, що як одна, так і друга фракції є нестандартними, розділ їх між собою є вторинною задачею і тому даний інформативний признак може бути прийнятим.

#### Висновки

1. Для виділення стандартної фракції із партії плодів інформативними параметрами є:

- різниця амплітудних значень спектру на резонансних частотах зрілої та недозрілої фракцій;
- коефіцієнт поглинання коливань плодів при ударному їх збудженні.

2. Розроблений новий спосіб неруйнівного контролю якості плодів по коефіцієнту поглинання, забезпечує можливість виділення 97 % плодів стандартної фракції з одночасним розділенням останніх на незрілу, недозрілу, перезрілу

фракції з похибкою 2,13...9,52 %. Верхня межа відноситься до розділу між собою незрілої та перезрілої фракцій максимального діаметру плодів.

3. В результаті експериментальних досліджень встановлено граничні значення інформативних параметрів розділення партії плодів на фракції по якості. Ці значення при виділенні стандартної фракції дорівнюють:

- для коефіцієнта загасання -  $46,8 \text{ с}^{-1}$  та нижче при мінімальному стандартному діаметрі і  $28,9 \text{ с}^{-1}$  - при максимальном;

- для амплітуди на резонансній частоті зрілих плодів  $37,65 \times 10^{-6} \text{ В}$  для середнього зразка;

- для амплітуди на резонансній частоті недозрілих плодів  $21,95...33,90 \times 10^{-6} \text{ В}$  для середнього зразка.

4. Найбільш ефективним по простоті технічної реалізації, точності є метод оцінки якості плодів по коефіцієнту поглинання. Втрати стандартної фракції при оцінці даним способом не перевищують 2,92 %.

#### 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. Визначення координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми акустичним методом / В.Ф. Яковлев // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» - Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 175. – С.97-99.

3. Kontrola jakości owoców V.F. Jakovlev, A.N. Terechov (Tawrijskaja Derčavna Agrotehnična Arademija w. Melitopolu (Ukraina). Ekologiczne aspekty, mechaniracjii nawożenia ochrony roślin i uprawy gleby: 111 Miedzynarodowe sympozjum /Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa Warszawa, 25 wrzesnia 1996 c.231-235.

4. The acoustic control of fruit damage V.F. Jakovlev, I.P. Nazarenko, M.V. Yakovleva, A.N. Terechov (Tawrijskaja Derčavna Agrotehnična Arademija w. Melitopolu (Ukraina). Systemy mikropro-cesorowe wrolnictwie . 2nd conference on mickroprocessor systems in acgriculture. Conference materials. 18...19 September 1997, Plock, Poland. c.113-117.

5. Яковлев В.Ф., Максимочкин Г.И. Разработка акустического метода и устройства для экспрессного анализа качества плодов бахчевых культур // Применение ультразвуки к исследованию вещества /Сб. научн. тр. Всесоюзный заочный машиностроительный институт. -М.:1986 - с. 54...59

6. А.с. № 1291866 (СССР) МКИ<sup>4</sup> G01N29/00 Б. И. №7, 1987 Яковлев В.Ф.,Бородин И.Ф. Максимочкин Г.И. Способ определения зрелости и поврежденности плодов.

7. Яковлев В.Ф. Визначення якісних ознак біологічних структур фіксованої геометричної форми імпульсним методом / В.Ф. Яковлев // Вісник НАУ Науковий журнал. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». Вип.5 (33), 2018 – с.66 – 73

8. Мэнли Р. Анализ и обработка записей колебаний,- М.: Машиностро-ение, 1972. - 368с.

9. Корн Г., КорнТ. Справочник по математике для научных работников и инженеров.- М.: Наука, 1984. - 832с.

10. 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.

#### Yakovlev V.F.

#### **Experimental research of the process of shock pulse transformation through biological objects of fixed geometric shape**

*Successful implementation of agricultural products requires compliance with the requirements of standards to ensure its high quality, ensuring the technological process (production, processing, storage) with a sufficient level of quality characteristics of the initial raw materials, product quality control at intermediate and final operations. Such qualitative characteristics of products, particularly a fixed geometric shape, the degree of ripeness, presence and depth of the damage, it is not always possible to determine the external condition of the product (e.g., melons) without its destruction.*

*To assess the qualitative and quantitative characteristics of agricultural products, various physical methods are used, of which a special place is occupied by the method of acoustic sensing, which consists in the fact that the properties of products (as biological objects) that determine the excitation and propagation of elastic vibrations are closely related to their anatomical structure and physical and biochemical characteristics, which in turn change during their vegetation when reaching the appropriate degree of ripeness.*

*This material presents the results of experimental studies to establish the relationship between the parameters of the aftereffect of shock excitation of biological objects of plant origin of a fixed geometric shape with their qualitative characteristics, to determine the characteristics and their quantitative values, which in turn makes it possible to implement technical devices Express nondestructive control of qualitative characteristics of agricultural products.*

**Keywords:** *acoustic sounding, acoustic field parameters, shock excitation, amplitude-frequency spectrum of oscillations, absorption coefficient, frequency, mode of oscillations, asymmetry, kurtosis.*

**Яковлев В.Ф.**

**Экспериментальное исследование процесса трансформации ударного импульса через биологический объект фиксированной геометрической формы**

Успешная реализация продукции сельского хозяйства требует соблюдения тренований стандартов по обеспечению ее высокого качества, обеспечения технологического процесса (производства, переработки, хранения) достаточным уровнем качественных признаков начальной продукции, контролем качества продукции на промежуточных и конечных операциях. Такие качественные признаки продукции, особенно фиксированной геометрической формы, как степень зрелости, наличия и глубина расположения повреждений, не всегда можно определить по внешнему состоянию продукта (например, бахчевые) без их разрушения.

Для оценки качественных и количественных значений признаков сельскохозяйственной продукции применяются различные физические методы, из большого числа которых, особое место занимает метод акустического зондирования, заключающийся в том, что свойства продуктов (как биологических объектов), которые определяют возбуждение и распространение упругих колебаний, тесно связаны с их анатомической структурой и физико-биохимическими характеристиками, которые в свою очередь, изменяются в процессе их вегетации при достижении соответствующей степени зрелости.

Приведенный материал представляет результаты экспериментальных исследований по установлению связей параметров последствия ударного возбуждения биологических объектов растительного происхождения фиксированной геометрической формы с их качественными признаками, определению информативных признаков и их количественных значений, что в свою очередь, дает возможность технической реализации устройств экспрессного неразрушающего контроля качественных признаков сельскохозяйственной продукции.

**Ключевые слова:** *акустическое зондирование, параметры акустического поля, ударное возбуждение, амплитудно-частотный спектр колебаний, коэффициент поглощения, частота, мода колебаний, асимметрия, эксцесс.*

Дата надходження до редакції: 15.03.2019