

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Яковлєв В.Ф.

Сумський національний аграрний університет

На підставі проведеного теоретичного аналізу обґрунтовано можливість застосування методу акустичної емісії при визначенні якісних ознак біологічних об'єктів рослинного походження фіксованої геометричної форми, що надасть можливість технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якості продуктів

Ключові слова: акустична емісія, дислокація, якісні ознаки продукту, відносне переміщення, параметри Ламе, хвильовий потенціал, частота, коефіцієнт Пуассона.

Постановка проблеми. Ефективність виробництва сільськогосподарської продукції у більшості визначається її якістю, як на стадії вихідної сировини, так і на різних стадіях технологічної переробки, що можливо лише при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів виміру її якісних ознак.

Наукові дослідження, які направлені на створення ефективних енерго- та ресурсозберігаючих технічних систем, що забезпечують експресний контроль якісних показників в ході технологічного процесу є актуальними.

Такі технічні засоби можна створювати використовуючи метод акустичної емісії, який засновано на відображенні якісних ознак продукту фіксованої геометричної форми в просторі параметрів акустичного поля [1, 4, 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки налічується велика кількість робіт, які присвячені пошуку методів та розробці електроакустичних систем експресного аналізу якості сільськогосподарської продукції. Але аналіз наведених в джерелах інформації результатів досліджень свідчить про те, що більшість з них не має глибоких теоретичних проробок, що дозволяють з єдиних позицій підійти до питань проектування названих систем, прогнозувати отримання визначеного технічного або економічного ефекту, систематизувати та уніфікувати систему технічних засобів експрес-контролю. Налічувані в літературних джерелах свідчення по дослідженням фізико-математичних моделей, теоретичних передумов описання процесів збудження продукту і зняття інформативного сигналу щодо якісних ознак роздрібно, а порою протилежні і недостатні для їх узагальнення та практичної реалізації [1, 4, 5].

Викладене вище визначає мету та основні задачі досліджень і дозволяє глибше дослідити зв'язок якісних ознак продуктів фіксованої геометричної форми з параметрами акустичної емісії та сформулювати основні принципи побудови технічних засобів експресного контролю.

Мета статті. Робота направлена на теоретичне обґрунтування можливості застосування методу акустичної емісії при визначенні якісних ознак біологічних об'єктів рослинного походження фіксованої геометричної форми, встановлення

відповідних закономірностей, що визначають передумови експериментальних досліджень і як заключний етап – технічну реалізацію методу.

Основні матеріали досліджень. Якість продукції сільськогосподарського виробництва, наприклад, плодів баштанних, які мають фіксовану геометричну форму, а також продуктів їх переробки багато в чому залежить від об'єктивного контролю якісних ознак продукту на усіх стадіях технологічного процесу. Одним із головних якісних показників плодів є ступень їх зрілості, яка корелює з вмістом сухих речовин у м'якості плоду.

Як визначено вище, одним із ефективних методів оцінки зрілості може бути метод акустичної емісії, який закладається в тому, що при механічному навантаженні усереднені зрілого плоду виникає дислокація, яка породжує акустичну хвилю (рисунок 1б).

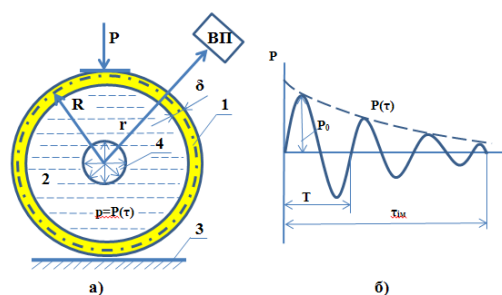


Рисунок 1- Фізична модель продукту фіксованої геометричної форми при виникненні акустичної емісії: а) – фізична модель; б) – форма зміни тиску $P(t)$ у середині дислокації; 1 – оболонка продукту; 2 – наповнювач(середовище); 3 – опора; 4 – дислокація; R – радіус серединної поверхні оболонки; r – відносна відстань (радіус) від центру сфери до розглядуваної точки; δ – товщина оболонки; P – діюча сила; ВП – вимірювальний перетворювач; T – період коливань, що розходяться від дислокації; $\tau_{\text{им}}$ – тривалість коливань

Запропонована фізична модель продукту фіксованої геометричної форми побудована з урахуванням наступних припущень та умов: об'єкт (продукт) має форму сфери і складається із оболонки 1 та наповнювача 2; має однорідну структуру у всьому об'ємі; дислокація 4 виникає у

центрі об'єкту; хвилі напруження і зміщення поширюються радіально від місця дислокації; зусилля стиснення $\mathbf{p}$ здійснюється по вертикалі; протилежною дією хитливих елементів на опору 3 можна зневажити; радіус дислокації (мікротріщини) надто малий у порівнянні з розмірами об'єкту; температурними зусиллями в оболонці моделі при дійсній температурі навколишнього середовища можна зневажити; зняття інформаційного сигналу здійснюється безконтактним способом на деякій відстані від поверхні об'єкту. З урахуванням перелічених припущень та умов фізична модель розглядуваного об'єкту наведено на рисунку 1а.

Зміна тиску $\mathbf{p}$ усередині дислокації (рисунок 1б) апроксимується наступним виразом:

$$\mathbf{p}(\tau) = \mathbf{P}_0 \cdot e^{-n\tau} \cdot \sin \omega \tau \quad (1)$$

де $\mathbf{P}_0$ – початкова амплітуда тиску, Н; $\mathbf{n}$ – коефіцієнт загасання хвилі, с^{-1} ; ω – частота коливань, с^{-1} ; τ – час.

Задача полягає в тому, щоб знайти поле переміщення $\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{r}, \tau)$ створюване хвилями, які розходяться від дислокації. Таким чином, приходимо до відомої у теорії пружності динамічної зовнішньої задачі у сфері. У даному випадку основними співвідношеннями і граничними умовами є:

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_0^2 \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial \tau^2} = \Delta \varphi_0; \quad \gamma_2^2 \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial \tau^2} = \Delta \varphi_2; \\ \mathbf{u}_{0|r=R_1} = \mathbf{u}_{0|r=R_1} + \mathbf{u}_{0|r=R_1} = \mathbf{v}; \\ \frac{\partial^2 \mathbf{v}_2}{\partial \tau^2} + \omega_1^2 \mathbf{v} = \frac{q}{\gamma_1^2 \beta_1 h_1}; \quad \sigma_{rr}^{(i)} = \beta \left(\frac{\partial u_i}{\partial r} + 2k \frac{u_i}{r} \right); \\ q = \sigma_{rr}^{(0)}|_{r=R_1} - \sigma_{rr}^{(2)}|_{r=R_1} - \sigma_{rrn}^{(2)}|_{r=R_1}; \end{array} \right. \quad (2)$$

де $\gamma_0, \gamma_2, \gamma_1$ – відносна швидкість у зовнішньому, внутрішньому середовищах та оболонці, відповідно: $\gamma_0 = \frac{c_*}{c_0}$; $\gamma_2 = \frac{c_*}{c_2}$; $\gamma_1 = \frac{c_*}{c_1}$; c_0, c_2, c_1 – швидкість у зовнішньому, внутрішньому середовищі та оболонці, м/с; c_* – базова швидкість, м/с; $\mathbf{r}$ – відносна відстань (радіус) від центру сфери до розглядуваної точки; $\mathbf{h}_1$ – відносна товщина оболонки: $\mathbf{h}_1 = \frac{\delta}{b}$; $\mathbf{R}_1$ – радіус плоду (радіус серединної поверхні оболонки, м; $\mathbf{b}$ – базовий розмір, м; δ – товщина оболонки, м; β_i – відносний параметр, який характеризує пружні властивості середовища: $\beta_i = \frac{\lambda_i + 2\mu_i}{\lambda_* + 2\mu_*}$; λ_i, μ_i – параметри Ламе i -го середовища; φ_i – хвильовий або пружний потенціал i -го середовища; $\mathbf{v}$ – безрозмірне значення радіального переміщення оболонки:

$\mathbf{v} = \frac{v_*}{b}$; v_* – базове значення радіального переміщення оболонки, м; $\mathbf{u}_i$ – відносне переміщення в i -му середовищі: $\mathbf{u}_i = \frac{u_{i*}}{b}$; $\mathbf{u}_{i*}$ – базове значення переміщення в i -му середовищі, м; ω_1 – відносна частота коливань оболонки після дії

сили; k_i – відносне значення параметра, який характеризує пружні властивості середовища:

$$\omega_1^2 = \frac{2E_1}{\rho_1 c_1^2 (1-\nu)} = 2 \frac{(1+2k_i)(1-k_i)}{\gamma_1^2}; \quad k_i = \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu};$$

E_1, ρ_1, ν – модуль Юнга, щільність, коефіцієнт Пуассона матеріалу оболонки, відповідно; q – нормальний тиск, створений на поверхні оболонки; $\sigma_{rr}^{(i)}$ – відносне значення радіальної напруги в i -му середовищі; $\sigma_{rr}^{(i)} = \frac{\sigma_{rr*}^{(i)}}{\lambda_i + 2\mu_i}$; $\sigma_{rrn}^{(2)}$ – відносне значення радіальної напруги у сферичній хвилі, яка розповсюджується від дислокації; $\sigma_{rr*}^{(i)}$ – базове значення напруги в i -му середовищі; τ – відносне значення часу: $\tau = \frac{c_*}{b} t$; t – час, с.

Початкові умови мають вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi_{0|\tau=0} = \dot{\varphi}_{0|\tau=0} = \varphi_{2|\tau=0} = \dot{\varphi}_{2|\tau=0} = \mathbf{v}(0) = \dot{\mathbf{v}}(0) = 0 \\ \text{або } g_i^{(0)}(0) = \dot{g}_i^{(0)}(0) = g_{0i}^{(2)}(0) = \dot{g}_{0i}^{(2)}(0) = g_{1i}^{(2)}(0) = \\ = \dot{g}_{1i}^{(2)}(0) = 0. \end{aligned}$$

Пружний (хвильовий) потенціал, який розповсюджується від дислокації, приймаємо у вигляді:

$$\varphi_{2n}(\mathbf{r}, \tau) = \frac{1}{r} g[\tau - \gamma_2(\mathbf{r} - 1)] \cdot \mathbf{H}[\tau - \gamma_2(\mathbf{r} - 1)] \quad (3)$$

де $\mathbf{H}[\tau - \gamma_2(\mathbf{r} - 1)]$ – функція Хевисайда (функція одиночного стрибка); $\mathbf{H}[\tau - \gamma_2(\mathbf{r} - 1)] = \frac{1}{0} \text{ при } \tau \geq 0$ $g[\tau - \gamma_2(\mathbf{r} - 1)]$ – вільна функція, що визначає закон зміни потенціалу на фронті хвилі;

Потенціал хвиль у зовнішньому і внутрішньому середовищах будуть виражатися наступним чином:

$$\varphi_0(\mathbf{r}, \tau) = \frac{1}{r} \sum_{i=0}^{\infty} g_i^{(0)}[\tau - \tau_i - \gamma_0(\mathbf{r} - 1)] \cdot \mathbf{H}[\tau - \tau_i - \gamma_0(\mathbf{r} - 1)] \quad (4)$$

так як прийнята умова відсутності збурень, а саме, відбитої хвилі на нескінченності (при $\mathbf{r} \rightarrow \infty$), а також накладена умова обмеження функції, яка розшукується, в центрі сфери (при $\mathbf{r} \rightarrow 0$); $\varphi_2(\mathbf{r}, \tau) = 0(1)$.

У внутрішньому середовищі крім хвилі, яка розповсюджується, виникає і відбита хвиля від границі розподілу: оболонка – середовище. Тому:

$$\begin{aligned} \varphi_2(\mathbf{r}, \tau) = \frac{1}{r} \sum_{i=0}^{\infty} \{ g_{0i}^{(2)}[\tau - \tau_i - \gamma_2(1 - \mathbf{r})] \cdot \mathbf{H}[\tau - \tau_i - \gamma_2(1 - \mathbf{r})] + g_{1i}^{(2)}[\tau - \tau_i - \gamma_2(\mathbf{r} + 1)] \cdot \mathbf{H}[\tau - \tau_i - \gamma_2(\mathbf{r} + 1)] \} \end{aligned} \quad (5)$$

де τ_i – відносне значення часу проходження хвилі у внутрішньому середовищі: $\tau_i = 2\gamma_2 k \mathbf{r}$; $\mathbf{r} = \mathbf{R}_1 = 1$; $\mathbf{k} = (0, 1, 2, \dots, \mathbf{r})$; $g_i^{(0)}, g_{0i}^{(2)}, g_{1i}^{(2)}$ – довільні функції, які характеризують хвилі, що розходяться та сходяться.

Для виконання умов обмеженості функцій при $r \rightarrow 0$ повинна виконуватися умова:

$$g_{1i}^{(2)} = -g_{0i}^{(2)} = g_i^{(2)} \quad (7)$$

Враховуючі співвідношення (2) і (4), (5), (6), (7) для переміщення отримуємо наступні вирази:

$$u_{2H}(r, \tau) = -\frac{1}{r^2} \{ g[\tau - r_2(r-1)] + r_2 r g'[\tau - r_2(r-1)] \} \cdot H[\tau - r_2(r-1)] \quad (8)$$

$$u_{2H}(r, \tau) = -\frac{1}{r^2} \sum_{i=0}^{\infty} \{ g_i^{(0)}[\tau - \tau_i - r_0(r-1)] + r_0 r g_i^{(0)'}[\tau - \tau_i - r_0(r-1)] \} \cdot H[\tau - \tau_i - r_0(r-1)] \quad (9)$$

$$u_2(r, \tau) = -\frac{1}{r^2} \sum_{i=0}^{\infty} \{ g_{0i}^{(2)}[\tau - \tau_i - r_2(1-r)] - r_2 r g_{0i}^{(2)'}[\tau - \tau_i - r_2(1-r)] \} \cdot H[\tau - \tau_i - r_2(1-r)] - \frac{1}{r^2} \sum_{i=0}^{\infty} \{ g_{1i}^{(2)}[\tau - \tau_i - r_2(r+1)] + r_2 r g_{1i}^{(2)'}[\tau - \tau_i - r_2(r+1)] \} \cdot H[\tau - \tau_i - r_2(r+1)] \quad (10)$$

Враховуючі граничні умови (2) при $r = 1$ та застосувавши до співвідношень (3), (4), (5), (8), (9), (10) перетворення Лапласа, отримаємо:

$$\varphi_{2H}^L(r, s) = \frac{1}{r} g(s) \cdot e^{-r_2(r-1)s};$$

$$\varphi_0^L(r, s) = \frac{1}{r} \sum_{i=0}^{\infty} g_i^{(0)}(s) \cdot e^{[-\tau_i - r_0(r-1)]s};$$

$$\varphi_2^L(r, s) = \frac{1}{r} \sum_{i=0}^{\infty} \{ g_{0i}^{(2)}(s) \cdot e^{[-\tau_i - r_2(1-r)]s} + g_{1i}^{(2)}(s) \cdot e^{[-\tau_i - r_2(r+1)]s} \}$$

$$U_{2H}^L(r, s) = -\frac{1}{r^2} (1 + r_2 r s) g(s) \cdot e^{-r_2(r-1)s};$$

$$U_0^L(r, s) = -\frac{1}{r^2} \sum_{i=0}^{\infty} (1 + r_0 r s) g_i^{(0)}(s) \cdot e^{[-\tau_i - r_0(r-1)]s}$$

$$U_2^L(r, s) = -\frac{1}{r^2} \sum_{i=0}^{\infty} \{ (1 - r_2 r s) g_i^{(2)}(s) \cdot e^{[-\tau_i - r_2(1-r)]s} + (1 + r_2 r s) g_i^{(2)}(s) \cdot e^{[-\tau_i - r_2(r+1)]s} \}$$

Висновки. Встановлені залежності між біофізичними параметрами продукту, які в свою чергу, пов'язані з його якісними ознаками і параметрами акустичної емісії складають біофізико-акустичний простір, який представляє собою модель, що з визначеною похибкою може відображати якість реального продукту, служити передумовою проведення експериментальних

досліджень і базою для розрахунку технічних засобів експресної оцінки, апіорі, визначити функціональну структуру і параметри цих засобів. Крім того, наведені залежності, дозволяють визначити максимальне можливе віддалення датчиків зняття інформації від поверхні продукту.

Список використаних джерел

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. Горшков А.А., Тарлаковский Д.В. Нестационарная аэрогидроупругость тел сферической формы. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990 – 264 с.
3. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. Грешников В.А., Дробот Ю.В. – М.: Изд-во стандартов, 1976 – 272 с.
4. Яковлев В.Ф., Яковлева М.В. Клементьев А.А. Оценка зрелости плодов по параметрам акустической эмиссии // Техника в сельскохозяйственном производстве / Тр. ТГАТА, Вып. 1, Т.11 Мелитополь, 1999 г. - с.32-35
5. Kontrola jakosci owocow V.F. Jakovlev, A.N. Terechov (Tavrijskaja Derčavna Agrotechnična Arademiya 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.

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Яковлев В.Ф.

Сумський національний аграрний університет

На підставі проведеного теоретичного аналізу обґрунтовано можливість застосування методу акустичної емісії при визначенні якісних ознак біологічних об'єктів рослинного походження фіксованої геометричної форми, що надасть можливість технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якості продуктів

DETERMINING THE QUALITY OF AGRICULTURAL PRODUCTS BY ACOUSTIC EMISSION

V. Yakovlev

Sumy National Agrarian University

Proved the possibility of using acoustic emission method in determining the quality characteristics of biological objects of plant origin fixed geometry that will enable the technical implementation of NDT devices express the quality of products based on the theoretical analysis