

## ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ЗОНДУЮЧИХ ІМПУЛЬСІВ ПРИ ЛОКАЦІЇ ВНУТРІШНІХ ПОШКОДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР АКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

Яковлев В. Ф.

Сумський національний аграрний університет

*На підставі проведеного теоретичного аналізу обґрунтовано тривалість зондуючих імпульсів при локації внутрішніх пошкоджень біологічних об'єктів рослинного походження фіксованої геометричної форми, що надає можливість технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якості с/г продуктів.*

**Постановка проблеми.** Успішна реалізація сільськогосподарської продукції забезпечується зберіганням її якісних показників на всіх стадіях технологічного процесу (збір, транспортування, зберігання), що можливо не тільки при застосуванні відповідних технологій, але і при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів експресного контролю стану продукції, своєчасної вибраковки неякісних екземплярів. Наукові дослідження, які направлені на створення ефективних енерго- та ресурсозберігаючих технічних систем, що забезпечують експресний контроль якісних показників в технологічному процесі є актуальними. Одною із якісних ознак продукції фіксованої геометричної форми (яблука, баштанні, томати та ін..) є наявність та глибина пошкоджень, які не можливо визначити по зовнішньому стану оболонки.

Як було відмічено раніше, одним із раціональних методів, які забезпечують експресний неруйнівний контроль наявності внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми є метод акустичного зондування, який засновано на визначенні різниці часу надходження до приймачів відбитого зондуючого сигналу від налічуваного пошкодження, що залежить від його глибини залягання, форми та об'єму, тобто, на відображенні означених факторів біологічного продукту в просторі параметрів акустичного поля. В цьому сенсі, на точність локації значний вплив оказує тривалість та форма зондуючого сигналу, визначення яких і є предметом дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує велика кількість робіт присвячених пошуку методів та розробці електроакустичних систем експресного аналізу якості біологічних структур рослинного походження, а саме наявності та глибини залягання і об'єму внутрішніх пошкоджень продуктів фіксованої геометричної форми. Проведений аналіз наведених в джерелах інформації результатів досліджень свідчить проте, що більшість з них не має теоретичних проробок, відносно тривалості та форми зондуючих сигналів при локації, розділено, а порою протилежні і недостатні для їх узагальнення та здійснення системного підходу до питань проектування названих систем [1,2, 3]. Все вище викладене визначає мету та основні задачі дослідження і дозволяє глибше дослідити зв'язок між якісними ознаками продуктів фіксованої геометричної форми і параметрами акустичного зондування, а саме, залежність тривалості зондуючого імпульсу від відстані до контрольованого пошкодження, з метою запобігання накладання відбитого та зондуючого сигналів і підвищення точності технічних засобів неруйнівного експресного контролю.

**Мета статті.** Робота направлена на теоретичне обґрунтування тривалості зондуючих імпульсів при локації координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур рослинного походження фіксованої геометричної форми, встановлення відповідних залежностей, що визначають передумови проведення експериментальних досліджень і технічної реалізації запропонованого в методу.

**Основні матеріали досліджень.** Збереженість та якість продукції с/г виробництва, які мають фіксовану геометричну форму, багато в чому залежить від періодичного контролю наявності та глибини залягання і об'єму внутрішніх пошкоджень продукту. Для визначення параметрів акустичного поля при локації внутрішніх пошкоджень біологічних структур використана методика, що викладено у [4,5]. Як визначено у [1,3], метод акустичного зондування заключається в тому, що у середину розглядуваного об'єкту подається акустичний імпульс з випромінювача  $\Pi_i$ , частина якого відбивається від поверхні пошкодження  $I$  і повертається на той же випромінювач  $\Pi_i$ , який тепер працює в якості приймача (рис.1а). Інтенсивність прямокутного сигналу  $I_s$ , який падає на елементарну поверхню  $dS$  пошкодження типу "пластина" (рис. 1а,б), що розташована під кутом  $\Theta$  до напрямлення розповсюдження фронту хвилі, може бути визначена:

$$I_s = I_0 \cdot e^{-2\delta \frac{h}{\cos\Theta}} \cdot \cos\Theta \quad (1)$$

де  $I_0$  – інтенсивність, яка випромінюється перетворювачем  $\Pi_i$ , Вт/м<sup>2</sup>;  $\delta$  – коефіцієнт поглинання зондуючого сигналу у здорової частині біологічного об'єкту, с<sup>-1</sup>;  $h$  – відстань від перетворювача  $\Pi_i$  до площини пошкодження (по акустичній вісі випромінювача, м;  $\Theta$  – кут між напрямленням розповсюдження зондуючого сигналу та нормаллю до площини пошкодження, град. В свою чергу інтенсивність  $I_0$ , яка випромінюється перетворювачем  $\Pi_i$ , визначається за формулою (див. рис. 1б):

$$I_0 = \frac{pv S_e \cdot \operatorname{cosec}^2 \frac{\Theta}{2} \cdot \cos^2 \Theta}{4 h^2} \quad (2)$$

де  $p$  - тиск, який створює випромінювач зондуючого імпульсу, Па;  $v$  – коливальна швидкість випромінювача зондуючого імпульсу, м/с;  $S_e$  – площа випромінювача зондуючого імпульсу, м<sup>2</sup>.

Відбитий від площадки пошкодження  $dS$  сигнал  $U_n$  на вході того ж самого перетворювача  $\Pi_i$  буде мати наступний вираз:

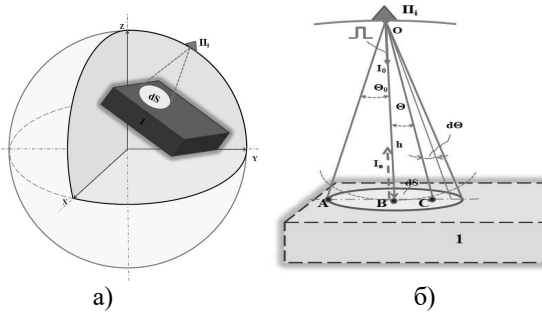


Рисунок 1 – Розрахункова модель для визначення параметрів зонduючого імпульсу при локації координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур

$$U_n = \frac{\gamma k p I_s}{h^2} \cdot e^{-2\delta \frac{h}{\cos\Theta}} \cdot \sin\Theta = \frac{\gamma k p I_0}{h^2} \cdot e^{-4\delta \frac{h}{\cos\Theta}} \cdot \cos\Theta \cdot \sin\Theta \quad (3)$$

де  $\gamma$  – чутливість перетворювача, В/Па;  $k_p$  – коефіцієнт розсіювання поверхні пошкодження.

Проміжок часу між початком випромінювання зонduючого імпульсу перетворювачем  $\Pi_i$  і часом приходу відбитого сигналу від точки В зворотно до перетворювача  $\Pi_i$  (рисунок 1б) визначається, як:

$$T_c = \frac{2h}{c} \quad (4)$$

де  $c$  – швидкість звуку у здорової частині біологічного об'єкту, м/с;

Якщо, відбитий сигнал надходить від точки С пошкодження, то проміжок часу  $T_c$  буде дорівнювати:

$$T_c = T_\theta + \tau = \frac{2h}{c} + \tau \quad (5)$$

де  $\tau$  – додатковий проміжок часу між початком випромінювання зонduючого імпульсу перетворювачем  $\Pi_i$  і часом приходу відбитого сигналу від точки С, зворотно, до перетворювача  $\Pi_i$  (рисунок 1б). Тоді:

$$\cos\Theta = \frac{2h}{2h + c\tau} \quad (6)$$

Найгіршим варіантом тривалості імпульсу  $\tau_{kp}$  (критична тривалість) зондування є випадок, коли до часу приходу зонduючого імпульсу у точку А з тривалістю  $\tau_\theta$  співпадає з кінцем того ж імпульсу у точці В. В цьому випадку, до перетворювача  $\Pi_i$  одночасно прийдуть відбиті сигнали від точок В і А. Значення критичної тривалості може бути визначена:

$$\tau_{kp} = \frac{2h}{c} (\sec\Theta_0 - 1) \quad (7)$$

де  $\Theta_0$  – ширина направленості випромінювача (перетворювача), град.

Можливі два характерних випадки, а саме.

1. Тривалість зонduючого імпульсу  $\tau_\theta \geq \tau_{kp}$

а) у цьому випадку, при  $0 \leq \tau \leq \tau_{kp}$  відбитий від пошкодження імпульс  $U_n$  на вході перетворювача  $\Pi_i$ , у першому наближенні, буде визначатися так:

$$U_n = \frac{\gamma k p I_0}{2h^3} \cdot e^{-4\delta h} \cdot c\tau \quad (8)$$

б) в інтервалі  $\tau_{kp} \leq \tau \leq \tau_\theta$  відбитий від пошкодження імпульс  $U_n$  на вході перетворювача  $\Pi_i$ , буде постійним та дорівнювати:

$$U_n = \frac{\gamma k p I_0}{2h^3} \cdot e^{-4\delta h} \cdot c\tau_{kp} \quad (9)$$

в) при  $\tau_\theta \leq \tau \leq (\tau_{kp} + \tau_\theta)$  величина відбитого від пошкодження імпульсу  $U_n$  на вході перетворювача  $\Pi_i$ , буде дорівнювати:

$$U_n = \frac{\gamma k p I_0}{2h^3} \cdot e^{-4\delta h} \cdot c(\tau_{kp} + \tau_\theta - \tau) \quad (10)$$

2. Тривалість зонduючого імпульсу  $\tau_\theta \leq \tau_{kp}$

а) у цьому випадку, при  $0 \leq \tau \leq \tau_\theta$  відбитий від пошкодження імпульс  $U_n$  на вході перетворювача  $\Pi_i$ , у першому наближенні, буде визначатися за виразом (8):

б) в інтервалі  $\tau_\theta \leq \tau \leq \tau_{kp}$  відбитий від пошкодження імпульс  $U_n$  на вході перетворювача  $\Pi_i$ , буде постійним та дорівнювати:

$$U_n = \frac{\gamma k p I_0}{2h^3} \cdot e^{-4\delta h} \cdot c\tau_\theta \quad (11)$$

в) при  $\tau_{kp} \leq \tau \leq (\tau_{kp} + \tau_\theta)$  величина відбитого від пошкодження імпульсу  $U_n$  на вході перетворювача  $\Pi_i$ , буде визначатися за виразом (10). Приблизні форми відбитих імпульсів, для розглядуваних випадків, наведено на рис.2 а,б,в. Тривалість відбитого від пошкодження енергетичного імпульсу  $\tau_e$  визначається, як:

$$\tau_e = \tau_2 - \tau_1 \quad (12)$$

де  $\tau_1$  та  $\tau_2$  – відповідно час початку і кінця приходу відбитого сигналу до перетворювача  $\Pi_i$  спаду та наростання при  $\tau_\theta \geq \tau_{kp}$  і  $\tau_\theta \leq \tau_{kp}$  мають однаковий вигляд, то і вирази для тривалості відбитих імпульсів будуть мати однаковий вигляд.

Так, як величини відбитих імпульсів на ділянці Із формули (8)  $\tau_1$  буде дорівнювати:

$$\tau_1 = \frac{2h^3 U_n}{\gamma k p I_0 c} \cdot \frac{1}{e^{-4\delta h}} \quad (13)$$

Час  $\tau_2$  визначається із виразу (10):

$$\tau_2 = \tau_\theta + \tau_{kp} - \frac{2h^3 U_n}{\gamma k p I_0 c} \cdot \frac{1}{e^{-4\delta h}} \quad (14)$$

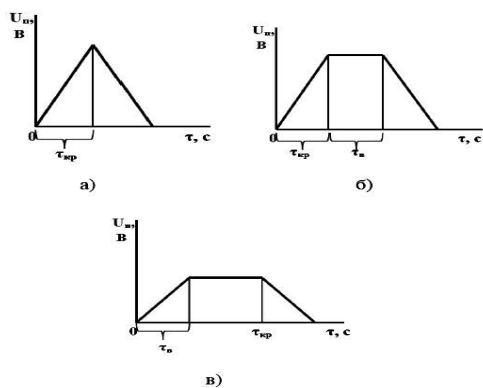


Рисунок 2 – Тривалість відбитого від пошкодження імпульсу  $U_n$  на вході перетворювача  $\Pi_i$ :

а -  $\tau_0 = \tau_{кр}$ ; б -  $\tau_0 \geq \tau_{кр}$ ; в -  $\tau_0 \leq \tau_{кр}$

Із виразів (13) та (14), після деяких перетворень, отримаємо:

$$\tau_e = \tau_0 + \frac{2h}{c} (\sec \Theta_0 - 1) - \frac{2h^2 U_n}{\gamma k p I_0 c} \cdot \frac{1}{e^{-4\delta h}} \quad (15)$$

Слід відмітити, що при невеликих відстанях до поверхні пошкодження, виконується умова:

$$\frac{2h^2 U_n}{\gamma k p I_0 c} \cdot \frac{1}{e^{-4\delta h}} \ll (\sec \Theta_0 - 1) \quad (16)$$

Тому, можна вважати, що при невеликих відстанях до поверхні пошкодження, тривалість відбитого імпульсу лінійно збільшується зі збільшенням відстані і може бути визначена, як:

$$\tau_e = \tau_0 + \frac{2h}{c} (\sec \Theta_0 - 1) \quad (17)$$

**Висновки.** Встановлені залежності дозволяють визначити найбільш вигідну тривалість зондуючого імпульсу при локації координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми, що з визначеною похибкою може відображати реальний якісний стан продукту у визначений час. Як видно із рис. 2 а,б,в. при  $\tau_0 \geq \tau_{кр}$ , фронт наростання відбитого імпульсу не може бути більше, ніж  $\tau_{кр}$ , тобто, повинна виконуватися умова:  $\tau_l \leq \tau_{кр}$ . При  $\tau_l = \tau_{кр}$ , з урахуванням (13) і (7) можна визначити максимальну відстань до пошкодження  $h_{max}$ , при якій відбитий імпульс буде мати максимальне енергетичне значення  $U_n max$ . При  $\tau_0 < \tau_{кр}$  (рисунок 2 в), фронт наростання відбитого імпульсу не може бути більше тривалості зондуючого імпульсу, тобто, повинна виконуватися умова:  $\tau_l \leq \tau_0$ . При  $\tau_l = \tau_0$ , з урахуванням (13) можна визначити максимальну відстань до пошкодження  $h_{max}$ , при якій відбитий імпульс буде мати максимальне енергетичне значення  $U_n max$  приданій тривалості зондуючого імпульсу. Крім того, вибір випромінювача з визначеною направленістю дозволяє здійснювати сканування пошкодження з необхідною точністю. Залежності, які наведено вище, представляють собою модель, що може служити передумовою

проведення експериментальних досліджень і базою для розрахунку технічних засобів експресної оцінки поточного стану біологічного продукту, як у технологічному потоці, так і при його зберіганні.

## Список використаних джерел

1. Яковлев В.Ф. Акустичний метод локації внутрішніх пошкоджень біологічних об'єктів. *Вісник ХНТУСГ "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". Технічні науки.* Харків : ХНТУСГ, 2016. Вип. 175. С.148-150.
2. Яковлев В.Ф. Похибки визначення координат внутрішніх пошкоджень біоб'єктів акустичним методом. *Науковий вісник Таврійського ДАТУ. Електронне наукове фахове видання "Енергозабезпечення технологічних процесів".* Мелітополь : ТДАТУ, 2017. Вип. 7. Том 1. С. 97-99.
3. Яковлев В.Ф. Визначення координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми акустичним методом. *Вісник ХНТУСГ "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". Технічні науки.* Харків : ХНТУСГ, 2016. Вип. 175. С. 97-99.
4. Акустика и ультразвуковая техника. Киев : Изд "Техника", 1973. Вып.8. 99 с.
5. Свердлин Г. М. Гидроакустические преобразователи и антенны. Ленинград : Судостроение, 1980. 232 с.

## Аннотация

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЗОНДИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ ПРИ ЛОКАЦИИ ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Яковлев В. Ф.

На основании проведенного теоретического анализа обоснована длительность зондирующих импульсов при локации внутренних повреждений биологических объектов растительного происхождения фиксированной геометрической формы, что дает возможность технической реализации устройств экспрессного неразрушающего контроля качества сельскохозяйственного продуктов.

## Abstract

### DETERMINATION OF THE DURATION OF A PROBING PULSE AT THE LOCATION OF INTERNAL DAMAGE TO BIOLOGICAL STRUCTURES BY ACOUSTIC METHOD

V. Yakovlev

Based on the theoretical analysis, the duration of the probe pulses during the location of internal damage to biological objects of plant origin of a fixed geometric shape is justified, which makes it possible to technically implement devices for express non-destructive quality control of agricultural products.