

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

Яковлєв 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 сільськогосподарської продукції

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 вибірки не якісних 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, лимон, апельсин 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 про те, що більшість з них не має теоретичних проробок, відносно тривалості та форми зондуючих сигналів при локації, роздірено, 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 сільськогосподарського 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 Π_i , частина якого відбивається від поверхні пошкодження 1 і повертається на той же випромінювач Π_i , який тепер працює в якості приймача (рисунок 1а).

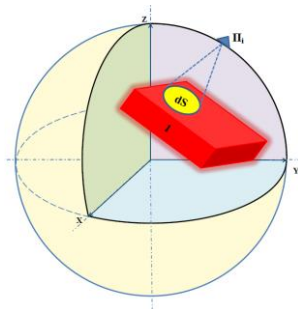
Інтенсивність прямокутного сигналу I_s , який падає на елементарну поверхню dS пошкодження типу «пластина» (рисунок 1а,б), що розташована під кутом Θ до направлення розповсюдження фронту хвилі, може бути визначена наступним чином:

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

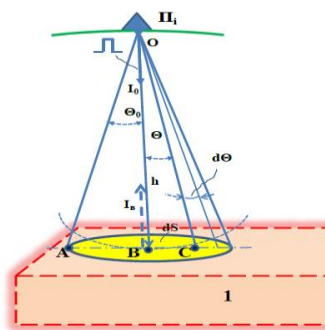
де I_0 – інтенсивність, яка випромінюється перетворювачем Π_i , Вт/м²;

δ – коефіцієнт поглинання зондуючого сигналу у здорової частини біологічного об'єкту, с⁻¹;

Θ – кут між направленням розповсюдження зонduючого сигналу та нормаллю до площини пошкодження, град.



a)



6)

В свою чергу інтенсивність I_0 , яка випромінюється перетворювачем Π_i , визначається за формулою (див. рисунок 16):

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

v – коливальна швидкість випромінювача зондуючого імпульсу, м/с;

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

$$U_n = \frac{\gamma k p I_s}{h^2} \cdot e^{-2\delta \frac{h}{\cos \Theta}} \cdot \sin \Theta =$$

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

де γ – чутливість перетворювача, В/Па;
 k_p – коефіцієнт розсіювання поверхні
 пошкодження.

Проміжок часу між початком випромінювання зонduючого імпульсу перетворювачем Π_i і часом приходу відбитого сигналу від точки В зворотно до перетворювача Π_i (рисунок 16) визначається, як:

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

де c – швидкість звуку у здоровій 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 τ – додатковий проміжок часу між початком випромінювання зонduючого імпульсу перетворювачем Π_i і часом приходу відбитого сигналу від точки C , зворотно, до перетворювача Π_i (рисунок 1б).

Тоді:

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

Найгіршим варіантом тривалості імпульсу $\tau_{кр}$ (критична тривалість) зондування є випадок, коли до часу приходу зондуючого імпульсу у точку A з тривалістю τ_g співпадає з кінцем того ж імпульсу у точці B . В цьому випадку, до перетворювача $П_i$ одночасно прийдуть відбиті сигнали від точок B і A . Значення критичної тривалості може бути визначена за виразом:

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

де Θ_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 $0 \leq \tau_v \leq \tau_{kp}$ відбитий

від пошкодження імпульс U_n на вході перетворювача P_i , у першому наближенні, буде визначатися за виразом:

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

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

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

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

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

2. Тривалість зонduючого імпульсу $\tau_{\epsilon} \leq \tau_{кр}$

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

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

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

в) при $\tau_{кр} \leq \tau \leq (\tau_{кр} + \tau_{\epsilon})$ величина відбитого від пошкодження імпульсу U_n на вході перетворювача Π_i , буде визначатися за виразом (10).

Приблизні форми відбитих імпульсів, для розглядуваних випадків, наведено на рисунку 2 а,б,в.

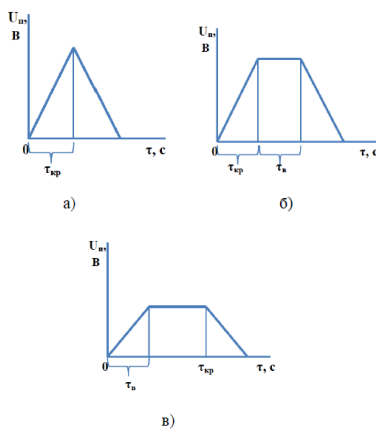


Рисунок 2 – Тривалість відбитого від пошкодження імпульсу U_n на вході перетворювача Π_i : а - $\tau_{\epsilon} = \tau_{кр}$; б - $\tau_{\epsilon} \geq \tau_{кр}$; в - $\tau_{\epsilon} \leq \tau_{кр}$

Тривалість відбитого від пошкодження енергетичного імпульсу τ_e визначається, як:

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

де τ_1 та τ_2 – відповідно час початку і кінця приходу відбитого сигналу до перетворювача Π_i .

Так, як величини відбитих імпульсів на ділянці спаду та наростання при $\tau_{\epsilon} \geq \tau_{кр}$ і $\tau_{\epsilon} \leq \tau_{кр}$ мають однаковий вигляд, то і вирази для тривалості відбитих імпульсів будуть мати однаковий вигляд.

Із формули (8) τ_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 τ_2 визначається із виразу (10):

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

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

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

Слід відмітити, що при невеликих відстанях до поверхні пошкоджень, 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 пошкоджень, тривалість відбитого імпульсу лінійно збільшується зі збільшенням відстані і може бути визначена, як:

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

Висновки. Встановлені залежності дозволяють визначити найбільш вигідну тривалість зонduючого 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 рисунку 2 а,б,в. при $\tau_{\epsilon} \geq \tau_{кр}$, фронт

Наростання відбитого імпульсу не може бути більше, ніж $\tau_{кр}$, тобто, повинна виконуватися умова:

$$\tau_1 \leq \tau_{кр}$$

При $\tau_1 = \tau_{кр}$, 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 $\tau_6 < \tau_{кр}$ (рисунок 2 в), фронт наростання відбитого імпульсу не може бути більше тривалості зонду чого імпульсу, тобто, повинна виконуватися умова: $\tau_1 \leq \tau_6$

При $\tau_1 = \tau_6$, 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 зонду чого 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 / В.Ф. Яковлев // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» - Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 175. – С.148-150.
2. Яковлев В.Ф. Похибки визначення координат внутрішніх пошкоджень біооб'єктів акустичним методом / В.Ф. Яковлев // 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 / 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.
4. Акустика и ультразвуковая техника. - К: Изд «Техника», Вып. 8, 1973 - 99 с.
5. Свердлин Г.М. Гидроакустические преобразователи и антенны. – Л.: 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 DURATION OF SOUNDING IMPULSES AT LOCATION OF INTERNAL DAMAGES OF BIOLOGICAL STRUCTURES BY ACOUSTIC METHOD

V. Yakovlev

On the basis of the conducted theoretical analysis duration of sounding impulses is reasonable at the location of internal damages of biological objects of phytogenous of the fixed geometrical form that will give possibility of technical realization of devices of express non-destructive control of quality agricultural of foods