



Розрахунок координат пошкоджень за допомогою описаних далі прийомів, теоретично (без урахування похибок вимірювання та прийнятих спрощень), дає точку в структурі біологічного матеріалу, в малій околиці якої в даний момент розвивається пошкодження. Суть методу полягає в наступному.

Після подачі акустичного зондувального імпульсу з випромінювача  $\Pi_i$ , пошкодження відбиває у навколишній матеріал акустичний сигнал, вимірювання параметрів якого за допомогою кількох рознесених приймачів-перетворювачів  $\Pi_i$  дозволяє визначити розташування джерела сигналу. Інформація про це міститься в амплітуді прийнятих сигналів (чим ближче дефект до перетворювача, тим більше амплітуда сигналу) і часу їх прийому.

На амплітудну локацію ушкоджень робить складний вплив структура біологічного матеріалу і форма продукту. Однак інформацію про амплітудах все ж використовують, але для вирішення допоміжних питань (селекції сигналів, грубої оцінки зони ушкоджень та ін). Найкращі результати дають методи локації, в яких використовується залежність часу приходу сигналу на рознесені приймачі від координат джерела.

Так, як біологічний об'єкт має сферичну форму, то для характеристики розташування перетворювачів  $\Pi_i$  і місця розташування пошкодження  $D$  обрана сферична система координат. Тоді, радіус-вектори  $r_i$  між початком координат і місцем розташування  $i$ -го перетворювача і проекції  $i$ -го радіус-вектора на координатні вісі ( $x_i, y_i, z_i$ ) можна визначити з наступних співвідношень:

$$r_i = (x_i + y_i + z_i)^{1/2} \quad (1)$$

$$x_i = R_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \cos \Theta_i$$

$$y_i = R_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \sin \Theta_i \quad (2)$$

$$z_i = R_i \cdot \cos \alpha_i$$

де  $r_i$  – радіус-вектор між початком координат і місцем розташування  $i$ -го перетворювача;

$x_i, y_i, z_i$  – проекції  $i$ -го радіус-вектора на координатні осі;  $R_i$  – радіус об'єкту;

$\alpha_n, \Theta_n$  – відповідно, кути широти та довготи сферичної системи координат.

Тоді завдання локації пошкодження зводиться до знаходження його координат у сферичній системі  $(r_n, \alpha_n, \Theta_n)$ . Рішення задачі полягає в наступному. Якщо час приходу сигналу в перетворювачі становить  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ , то відстань від місця пошкодження до перетворювача визначиться виразом:

$$r_i = c \tau_i \quad (3)$$

де  $c$  – швидкість звуку в матеріалі об'єкту.

Застосовуючи відомі положення [2] про знаходження довжини відрізка за відомими координатами його кінців, теорему косинусів, а також [3] і з урахуванням (1) - (3) та схеми локації (рис. 1) отримаємо

систему рівнянь у сферичних координатах для відповідних радіус-векторів:

$$\begin{cases} r_1^2 = (x_n - R_1)^2 + (y_n - R_1)^2 + (z_n - R_1)^2 \\ r_2^2 = (x_n - R_2)^2 + (y_n - R_2)^2 + (z_n - R_2)^2 \\ r_3^2 = (x_n - R_3)^2 + (y_n - R_3)^2 + (z_n - R_3)^2 \\ r_4^2 = (x_n - R_4)^2 + (y_n - R_4)^2 + (z_n - R_4)^2 \end{cases} \quad (4)$$

Система (4) розв'язана при мінімальному числі рівнянь, що дорівнює чотирьом (невідомими є  $r_n$  і шукані кути  $\alpha_n$  і  $\Theta_n$ ), тому мінімально необхідне число перетворювачів також дорівнює чотирьом ( $i = 1, 2, 3, 4$ ). З урахуванням (2) система рівнянь (4) для відрізків  $r_1 \dots r_4$  буде мати наступний вигляд:

$$\begin{cases} r_1^2 = (r_n \cdot \sin \alpha_n \cdot \cos \Theta_n - R_1)^2 + \\ + (r_n \cdot \sin \alpha_n \cdot \sin \Theta_n - R_1)^2 + \\ + (r_n \cdot \cos \alpha_n - R_1)^2 \\ r_2^2 = (r_n \cdot \sin \alpha_n \cdot \cos \Theta_n - R_2)^2 + \\ + (r_n \cdot \sin \alpha_n \cdot \sin \Theta_n - R_2)^2 + \\ + (r_n \cdot \cos \alpha_n - R_2)^2 \\ r_3^2 = (r_n \cdot \sin \alpha_n \cdot \cos \Theta_n - R_3)^2 + \\ + (r_n \cdot \sin \alpha_n \cdot \sin \Theta_n - R_3)^2 + \\ + (r_n \cdot \cos \alpha_n - R_3)^2 \\ r_4^2 = (r_n \cdot \sin \alpha_n \cdot \cos \Theta_n - R_4)^2 + \\ + (r_n \cdot \sin \alpha_n \cdot \sin \Theta_n - R_4)^2 + \\ + (r_n \cdot \cos \alpha_n - R_4)^2 \end{cases} \quad (5)$$

При симетричній задачі, тобто розташування датчиків строго по всім координат, одержуємо прості вирази для визначення координат місцезнаходження пошкодження. Сумісне вирішення рівнянь (5) та з урахуванням того, що  $R_1=R_2=R_3=R_4=R$  (сфера) приводе до наступних відношень:

$$r_n = \frac{r_1^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin \alpha_n (\sin \Theta_n - \cos \Theta_n)} \quad (6)$$

$$r_n = \frac{r_1^2 - r_3^2}{2R \cdot \sin \alpha_n (\sin \Theta_n - \cos \Theta_n)} \quad (7)$$

$$r_n = \frac{r_4^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin \alpha_n \cdot \sin \Theta_n} \quad (8)$$

Прирівнявши рівняння (6) і (7), отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{r_1^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin \alpha_n (\sin \Theta_n - \cos \Theta_n)} &= \\ &= \frac{r_2^2 - r_3^2}{2R \cdot \sin \alpha_n (\sin \Theta_n - \cos \Theta_n)} \end{aligned} \quad (9)$$

$$ctq\alpha_n = \frac{r_1^2 - r_3^2}{r_1^2 - r_2^2} \cdot \sin \Theta_n - \frac{r_2^2 - r_3^2}{r_1^2 - r_2^2} \cdot \cos \Theta_n \quad (10)$$

Ввівши позначення:

$$a = \frac{r_1^2 - r_3^2}{r_1^2 - r_2^2} \quad b = \frac{r_2^2 - r_3^2}{r_1^2 - r_2^2} \quad (11)$$

отримаємо:

$$ctq\alpha_n = a \cdot \sin \Theta_n - b \cdot \cos \Theta_n \quad (12)$$

із (12):

$$\alpha_n = \arcsin (a \cdot \sin \Theta_n - b \cdot \cos \Theta_n) \quad (13)$$

Прирівнявши рівняння (6) і (8), отримаємо:

$$\frac{r_1^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin \alpha_n (\sin \Theta_n - \cos \Theta_n)} = \frac{r_4^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin \alpha_n \cdot \sin \Theta_n} \quad (14)$$

звідки:

$$ctq\Theta_n = \frac{r_4^2 + r_2^2 - 2r_1^2}{r_4^2 - r_2^2} \quad (15)$$

Із (15), отримаємо:

$$\Theta_n = \arcsin \left[ \frac{r_4^2 + r_2^2 - 2r_1^2}{r_4^2 - r_2^2} \right] \quad (16)$$

З урахуванням (3), отримаємо:

$$\Theta_n = \arcsin \left[ \frac{\tau_4^2 + \tau_2^2 - 2\tau_1^2}{\tau_4^2 - \tau_2^2} \right] \quad (17)$$

$$ctq\alpha_n = \frac{\tau_1^2 - \tau_3^2}{\tau_1^2 - \tau_2^2} \times \sin \Theta_n - \frac{\tau_2^2 - \tau_3^2}{\tau_1^2 - \tau_2^2} \cdot \cos \Theta_n \quad (18)$$

$$\alpha_n = \arcsin (a \cdot \sin \Theta_n - b \cdot \cos \Theta_n) \quad (19)$$

$$a = \frac{\tau_1^2 - \tau_3^2}{\tau_1^2 - \tau_2^2} \quad b = \frac{\tau_2^2 - \tau_3^2}{\tau_1^2 - \tau_2^2} \quad (20)$$

$$r_n = \frac{c^2 (\tau_1^2 - \tau_2^2)}{2R \cdot \sin \alpha_n (\sin \Theta_n - \cos \Theta_n)} \quad (21)$$

**Висновки.** Наведена фізико-математична модель обумовлює можливість застосування акустичного

методу визначення координат розташування внутрішніх пошкоджень біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми по відомим координатам приймачів зондуючих сигналів, що з визначеною похибкою може відображати якість реального продукту у визначений час і служити передумовою проведення експериментальних досліджень та відповідних розрахунків при проектуванні технічних засобів експресного контролю якісних ознак сільськогосподарської продукції.

#### Список використаних джерел

1. Іноземцев Г. Б. Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві : Навчальний посібник / Г. Б. Іноземцев, В. Ф. Яковлев, В. В. Козирський // – К.: ТОВ "Аграр Медіа Груп", 2013. – 171 с.
2. Александров А. Д. Геометрия: Уч. Пособие. / А. Д. Александров, Н. Ю. Нецветаев // – М.: Наука, 1990. – 672 с.
3. Грешников В. А. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. / В. А. Грешников, Ю. В. Дробот – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 272 с.
4. Jakovlev V. F. Kontrola jakosci owocow / V. F. Jakovlev, A. N. Terechov (Tavrijskaja Deršavna 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. – С.231-235.

#### Анотация

#### АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ЛОКАЦИИ ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Яковлев В. Ф.

*На основании проведенного теоретического анализа обоснована возможность применения акустического метода при определении внутренних повреждений биологических объектов растительного происхождения фиксированной геометрической формы, что позволит техническую реализацию устройств экспресного неразрушающего контроля качества сельскохозяйственной продукции.*

#### Abstract

#### THE ACOUSTIC METHOD OF INTERNAL DAMAGE LOCATION OF BIOLOGICAL OBJECTS

V. Yakovlev

*Based on conducted theoretical analysis, was substantiated the ability to use acoustic method in determining injuries of the plant origin biological objects with fixed geometric shapes. This gives the technical opportunity to implement devices of the express, non-destroyable quality control of agricultural products.*