

допомогою кількох рознесених приймачів-перетворювачів Π_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 Π_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:

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

$$\left. \begin{aligned} x_i &= R_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \cos \Theta_i \\ y_i &= R_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \sin \Theta_i \\ z_i &= R_i \cdot \cos \alpha_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

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; α_i, Θ_i - відповідно, кути широти та довготи сферичної системи координат.

Тоді завдання локації пошкодження зводиться до знаходження його координат у сферичній системі (r_n, α_n, Θ_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 (рисунок 1) отримаємо систему рівнянь у сферичних координатах для відповідних радіус-векторів:

$$\left. \begin{aligned} r_1^2 &= (x_{\Pi} - R_1)^2 + (y_{\Pi} - R_1)^2 + (z_{\Pi} - R_1)^2 \\ r_2^2 &= (x_{\Pi} - R_2)^2 + (y_{\Pi} - R_2)^2 + (z_{\Pi} - R_2)^2 \\ r_3^2 &= (x_{\Pi} - R_3)^2 + (y_{\Pi} - R_3)^2 + (z_{\Pi} - R_3)^2 \\ r_4^2 &= (x_{\Pi} - R_4)^2 + (y_{\Pi} - R_4)^2 + (z_{\Pi} - R_4)^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Система (4) розв'язана при мінімальному числі рівнянь, що дорівнює чотирьом (невідомими є r_{Π} і шукані кути α_{Π} і Θ_{Π}), 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:

$$\left. \begin{aligned} r_1^2 &= (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \cos \Theta_{\Pi} - R_1)^2 + \\ &+ (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \sin \Theta_{\Pi} - R_1)^2 + (r_{\Pi} \cdot \cos \alpha_{\Pi} - R_1)^2 \quad (5.1) \\ r_2^2 &= (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \cos \Theta_{\Pi} - R_2)^2 + \\ &+ (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \sin \Theta_{\Pi} - R_2)^2 + (r_{\Pi} \cdot \cos \alpha_{\Pi} - R_2)^2 \quad (5.2) \\ r_3^2 &= (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \cos \Theta_{\Pi} - R_3)^2 + \\ &+ (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \sin \Theta_{\Pi} - R_3)^2 + (r_{\Pi} \cdot \cos \alpha_{\Pi} - R_3)^2 \quad (5.3) \\ r_4^2 &= (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \cos \Theta_{\Pi} - R_4)^2 + \\ &+ (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \sin \Theta_{\Pi} - R_4)^2 + (r_{\Pi} \cdot \cos \alpha_{\Pi} - R_4)^2 \quad (5.4) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

При симетричній задачі, тобто розташування датчиків строго по вісям координат, одержуємо прості вирази для визначення координат місцезнаходження пошкодження. Сумісне вирішення рівнянь (5.1) – (5.4) та з урахуванням того, що $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ (сфера) приведе до наступних відношень:

$$r_{\Pi} = \frac{r_1^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin \alpha_{\Pi} (\sin \Theta_{\Pi} - \cos \Theta_{\Pi})} \quad (6)$$

$$r_{\Pi} = \frac{r_1^2 - r_3^2}{2R \cdot \sin \alpha_{\Pi} (\operatorname{Ctg} \alpha_{\Pi} - \cos \Theta_{\Pi})} \quad (7)$$

$$r_{\Pi} = \frac{r_4^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \sin \Theta_{\Pi}} \quad (8)$$

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

$$\begin{aligned} \frac{r_1^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin \alpha_{\Pi} (\sin \Theta_{\Pi} - \cos \Theta_{\Pi})} &= \\ &= \frac{r_2^2 - r_3^2}{2R \cdot \sin \alpha_{\Pi} (\operatorname{Ctg} \alpha_{\Pi} - \cos \Theta_{\Pi})} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\operatorname{Ctg} \alpha_{\Pi} = \frac{r_1^2 - r_3^2}{r_1^2 - r_2^2} \cdot \sin \Theta_{\Pi} - \frac{r_2^2 - r_3^2}{r_1^2 - r_2^2} \cdot \cos \Theta_{\Pi} \quad (10)$$

Ввівши позначення:

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

$$\text{отримаємо: } \text{Ctg } \alpha_{\Pi} = a \cdot \text{Sin } \Theta_{\Pi} - b \cdot \text{Cos } \Theta_{\Pi} \quad (12)$$

із (12):

$$\alpha_{\Pi} = \text{arc Ctg} (a \cdot \text{Sin } \Theta_{\Pi} - b \cdot \text{Cos } \Theta_{\Pi}) \quad (13)$$

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

$$\frac{r_1^2 - r_2^2}{2R \cdot \text{Sin } \alpha_{\Pi} (\text{Sin } \Theta_{\Pi} - \text{Cos } \Theta_{\Pi})} = \frac{r_4^2 - r_2^2}{2R \cdot \text{Sin } \alpha_{\Pi} \cdot \text{Sin } \Theta_{\Pi}} \quad (14)$$

звідки:

$$\text{Ctg } \Theta_{\Pi} = \frac{r_4^2 + r_2^2 - 2r_1^2}{r_4^2 - r_2^2} \quad (15)$$

Із (15), отримаємо:

$$\Theta_{\Pi} = \text{arc Ctg} \frac{r_4^2 + r_2^2 - 2r_1^2}{r_4^2 - r_2^2} \quad (16)$$

З урахуванням (3), отримаємо:

$$\Theta_{\Pi} = \text{arc Ctg} \left[\frac{\tau_4^2 + \tau_2^2 - 2\tau_1^2}{\tau_4^2 - \tau_2^2} \right] \quad (17)$$

$$\text{Ctg } \alpha_{\Pi} = \frac{\tau_1^2 - \tau_3^2}{\tau_1^2 - \tau_2^2} \cdot \text{Sin } \Theta_{\Pi} - \frac{\tau_2^2 - \tau_3^2}{\tau_1^2 - \tau_2^2} \cdot \text{Cos } \Theta_{\Pi} \quad (18)$$

$$\alpha_{\Pi} = \text{arc Ctg} (a \cdot \text{Sin } \Theta_{\Pi} - b \cdot \text{Cos } \Theta_{\Pi}) \quad (19)$$

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

$$r_{\Pi} = \frac{c^2 (\tau_1^2 - \tau_2^2)}{2R \cdot \text{Sin } \alpha_{\Pi} (\text{Sin } \Theta_{\Pi} - \text{Cos } \Theta_{\Pi})} \quad (21)$$

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

Анотація

АКУСТИЧНИЙ МЕТОД ЛОКАЦІЇ ВНУТРІШНІХ ПОШКОДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Яковлев В.Ф.

Сумський національний аграрний університет

На підставі проведеного теоретичного аналізу обґрунтовано можливість застосування акустичного методу при визначенні внутрішніх пошкоджень біологічних об'єктів рослинного походження фіксованої геометричної форми, що надасть можливість технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якості сільськогосподарської продукції

Abstract

THE ACOUSTIC METHOD OF INTERNAL DAMAGE LOCATION OF BIOLOGICAL OBJECTS

V. Yakovlev

Sumy National Agrarian University

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-destructible quality control of agricultural products.