УДК 631.53.027.34

ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ВНУТРІШНІХ ПОШКОДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ФІКСОВАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ АКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

Яковлєв В. Ф.

Сумський національний аграрний університет

Наведено рішення попередньо сформульованої задачі по визначенню координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур рослинного походження фіксованої геометричної форми.

Постановка проблеми. Як було відмічено раніше, одним із важливих питань успішної реалізації сільськогосподарської продукції є забезпечення її якісних показників у період її зберігання та реалізації, що можливо при широкому впроваджені сучасних методів і технічних засобів експресного контролю стану продукції, своєчасної вибраковки неякісних екземплярів. Одною із якісних ознаки продукції фіксованої геометричної форми (яблука, баштанні, томати, лимон, апельсин та ін..) є наявність та глибина пошкоджень, які не завжди можливо визначити тільки по зовнішньому стану оболонки.

Тому наукові дослідження, які направлені на створення технічних систем, що забезпечують експресний неруйнівний контроль наявності внутрішніх пошкоджень вище названих біологічних структур в процесі зберігання є актуальними [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх теоретичних дослідженнях було обґрунтовано та сформульована задача можливості застосування акустичного методу по визначенню координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми, складена система вихідних рівнянь, наведено рішення цієї задачі при розташування датчиків строго по вісям координат, тобто, рішення симетричної задачі. Але не наведено рішення цієї задачі в загальному вигляді, тобто, при вільному розташуванні перетворювачів.

Це визначає мету та основні задачі наведених нижче досліджень, результати яких надають можливість розраховувати та проектувати технічні засоби експресного неруйнівного визначення координат пошкоджень у внутрішній структурі продуктів фіксованої геометричної форми по параметрам акустичного зондування.

Мета статті. Надати загальну методику рішення задачі по визначенню координат внутрішніх пошкоджень в біологічних структурах рослинного походження фіксованої геометричної форми для подальшого використання в практиці проектування і технічній реалізації методу.

Основні матеріали досліджень. Застосовуючи відомі положення про знаходження довжини відрізка за відомими координатами його кінців, теорему косинусів, а також з урахуванням (1) – (3) і схеми локації (рис. 1) отримаємо систему рівня у сферичних координатах для відповідних радіус-векторів:

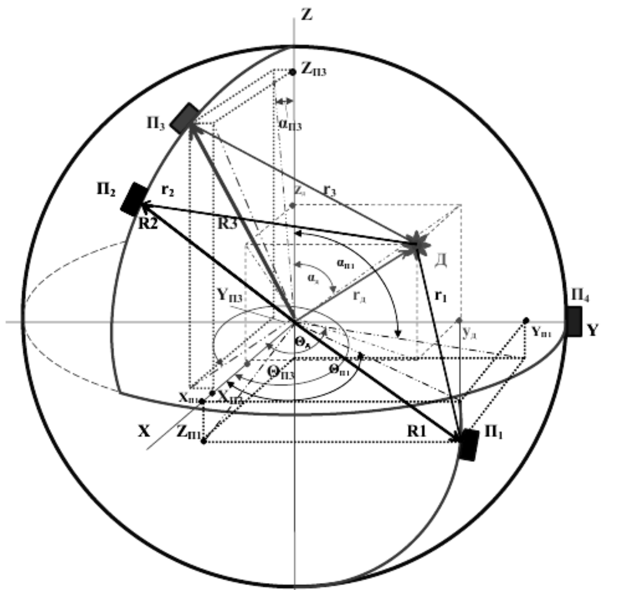

Рисунок 1 – Розрахункова модель для визначення координат розташування пошкодження во внутрішній структурі обєкту

$$
\begin{cases}
r_1^2 = (r_n\cdot\sin\alpha_n\cdot\cos\Theta_n - R_1\cdot\sin\alpha_1\cdot\cos\Theta_1)^2 + \\
+(r_n\cdot\sin\alpha_n\cdot\sin\Theta_n - R_1\cdot\sin\alpha_1\cdot\sin\Theta_1)^2 + \\
+(r_n\cdot\cos\alpha_n - R_1\cdot\cos\alpha_1)^2 \\
r_2^2 = (r_n\cdot\sin\alpha_n\cdot\cos\Theta_n - R_2\cdot\sin\alpha_2\cdot\cos\Theta_2)^2 + \\
+(r_n\cdot\sin\alpha_n\cdot\sin\Theta_n - R_2\cdot\sin\alpha_2\cdot\sin\Theta_2)^2 + \\
+(r_n\cdot\cos\alpha_n - R_2\cdot\cos\alpha_2)^2 \\
r_3^2 = (r_n\cdot\sin\alpha_n\cdot\cos\Theta_n - R_3\cdot\sin\alpha_3\cdot\cos\Theta_3)^2 + \\
+(r_n\cdot\sin\alpha_n\cdot\sin\Theta_n - R_3\cdot\sin\alpha_3\cdot\sin\Theta_3)^2 + \\
+(r_n\cdot\cos\alpha_n - R_3\cdot\cos\alpha_3)^2 \\
r_4^2 = (r_n\cdot\sin\alpha_n\cdot\cos\Theta_n - R_4\cdot\sin\alpha_4\cdot\cos\Theta_4)^2 + \\
+(r_n\cdot\sin\alpha_n\cdot\sin\Theta_n - R_4\cdot\sin\alpha_4\cdot\sin\Theta_4)^2 + \\
+(r_n\cdot\cos\alpha_n - R_4\cdot\cos\alpha_4)^2
\end{cases}
\tag{1}
$$

З використанням [3,4] рішення системи рівнянь (1) в загальному вигляді полягає в наступному. Так як положення випромінювачів-приймачів П1 – П4 на поверхні об’єкту (рис. 1) задається, то будуть відомими і їх кординати ($R_1 – R_4$;$\alpha_1 – \alpha_4$;Θ_1 - Θ_1). Вводячи позначення:

$$
\begin{cases}
A_{11} = \sin\alpha_1 \cdot \cos\Theta_1; \; A_{12} = \sin\alpha_1 \cdot \sin\Theta_1; \\
A_{13} = \cos\alpha_1; \\
B_{11} = \sin\alpha_2 \cdot \cos\Theta_2; \; B_{12} = \sin\alpha_2 \cdot \sin\Theta_2; \\
B_{13} = \cos\alpha_2; \\
C_{11} = \sin\alpha_3 \cdot \cos\Theta_3; \; C_{12} = \sin\alpha_3 \cdot \sin\Theta_3; \\
C_{13} = \cos\alpha_3; \\
D_{11} = \sin\alpha_4 \cdot \cos\Theta_4; \; D_{12} = \sin\alpha_4 \cdot \sin\Theta_4; \\
D_{13} = \cos\alpha_4;
\end{cases} \tag{2}
$$

та враховуючи, що:

$$
\begin{aligned}
& A_{11}^2 + A_{12}^2 + A_{13}^2 + = \sin^2\alpha_1 \cdot \cos^2\Theta_1 + \\
& + \sin^2\alpha_1 \cdot \sin^2\Theta_1 + \cos^2\alpha_1 = \\
& = \sin^2\alpha_1(\cos^2\Theta_1 + \sin^2\Theta_1) + \\
& + \cos^2\alpha_1 = \sin^2\alpha_1 + \cos^2\alpha_1 = 1 \\
& B_{11}^2 + B_{12}^2 + B_{13}^2 = 1; \quad C_{11}^2 + C_{12}^2 + C_{13}^2 = 1; \\
& D_{11} + D_{12}^2 + D_{13}^2 = 1;
\end{aligned} \tag{3}
$$

для довжин відрізків $r_1 \ldots r_4$, після перетворення, отримаємо:

$$
\begin{cases}
r_1^2 = r_n + R_1^2 - 2R_1 r_n \cdot \sin\alpha_n(A_{11}\cos\Theta_n + \\
\quad + A_{12}\sin\Theta_n + A_{13}\cos\alpha_n) \\
r_2^2 = r_n + R_2^2 - 2R_2 r_n \cdot \sin\alpha_n(B_{11}\cos\Theta_n + \\
\quad + B_{12}\sin\Theta_n + B_{13}\cos\alpha_n) \\
r_3^2 = r_n + R_3^2 - 2R_3 r_n \cdot \sin\alpha_n(C_{11}\cos\Theta_n + \\
\quad + C_{12}\sin\Theta_n + C_{13}\cos\alpha_n) \\
r_4^2 = r_n + R_4^2 - 2R_4 r_n \cdot \sin\alpha_n(D_{11}\cos\Theta_n + \\
\quad + D_{12}\sin\Theta_n + D_{13}\cos\alpha_n)
\end{cases} \tag{4}
$$

Віднімаючи в системі рівнянь (4) перше від другого і враховуючи, що $R_1=R_2=R_3=R_4= R$, отримаємо:

$$
\begin{aligned}
& r_1^2 - r_2^2 = 2Rr_n \cdot \sin\alpha_n[(B_{11} - A_{11})\cos\Theta_n + \\
& +(B_{12} - A_{12}) \cdot \sin\Theta_n + (B_{13} - A_{13}) \cdot \cos\alpha_n
\end{aligned} \tag{5}
$$

З рівняння (5) визначається вираз для обчислення $r_п$:

$$
\begin{aligned}
& r_п = \frac{r_1^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin\alpha_п} \times \\
& \times \frac{1}{[C_1 \cdot \cos\Theta_п + C_2 \cdot \sin\Theta_п + C_3 \cdot \cos\alpha_п]} \\
& C_1 = (B_{11} - A_{11}) \quad C_2 = (B_{12} - A_{12}) \\
& C_2 = (B_{13} - A_{13})
\end{aligned} \tag{6}
$$

За аналогією, віднімаючи в системі рівнянь (4) від першого третє, отримаємо:

$$
\begin{aligned}
& r_1^2 - r_3^2 = 2Rr_п \cdot \sin\alpha_п[(C_{11} - A_{11})\cos\Theta_п + \\
& +(C_{12} - A_{12}) \cdot \sin\Theta_п + (C_{13} - A_{13}) \cdot \cos\alpha_п]
\end{aligned} \tag{7}
$$

а із рівняння (7):

$$
\begin{aligned}
& r_n = \frac{r_1^2 - r_3^2}{2R \cdot \sin\alpha_n} \times \\
& \times \frac{1}{[L_1 \cdot \cos\Theta_n + L_2 \cdot \sin\Theta_n + L_3 \cdot \cos\alpha_n]} \\
& L_1 = (C_{11} - A_{11}) \quad L_2 = (C_{12} - A_{12}) \\
& L_2 = (C_{13} - A_{13})
\end{aligned} \tag{8}
$$

Прирівнявши вирази (6) і (8) і зробивши відповідні перетворення, визначаємо кут довготи для радіус – вектора координат пошкодження:

$$
\begin{aligned}
& (r_1^2 - r_2^2)\,[(C_{11} - A_{11})\cos\Theta_n + (C_{12} - A_{12}) \cdot \sin\Theta_n + \\
& +(C_{13} - A_{13}) \cdot \cos\alpha_n] = (r_1^2 - r_3^2)\,[(B_{11} - A_{11})\cos\Theta_n + \\
& +(B_{12} - A_{12}) \cdot \sin\Theta_n + (B_{13} - A_{13}) \cdot \cos\alpha_n]
\end{aligned} \tag{9}
$$

Із (9):

$$
\begin{aligned}
& [(r_1^2 - r_2^2) \times \\
& \times[(C_{13} - A_{13}) - (r_1^2 - r_3^2)\,(B_{13} - A_{13})] \cdot \cos\alpha_n = \\
& = [(r_1^2 - r_3^2) \times \\
& \times[(B_{11} - A_{11}) - (r_1^2 - r_2^2)(C_{11} - A_{11})] \cdot \cos\Theta_n + \\
& + [(r_1^2 - r_3^2) \times \\
& \times[(B_{12} - A_{12}) - (r_1^2 - r_2^2)(C_{12} - A_{12})] \cdot \sin\Theta_n
\end{aligned} \tag{10}
$$

Із (10):

$$
\cos\alpha_n = \frac{a \cdot \cos\Theta_n + b \cdot \sin\Theta_n}{p} \tag{11}
$$

звідки:

$$
\alpha_n = arc\ cos \left[\frac{a \cdot \cos\ \Theta_n + b \cdot \sin\Theta_n}{p} \right] \tag{12}
$$

де, з урахуванням того, що: $r_i = c\tau_i$

$$
\begin{aligned}
& a = c^2[(\tau_3^2 - \tau_2^2) \cdot \sin_1 \cos\Theta_1 + \\
& +(\tau_1^2 - \tau_3^2) \cdot \sin\alpha_2 \cos\Theta_2 - (\tau_1^2 - \tau_2^2) \cdot \sin_3 \cos\Theta_3]
\end{aligned} \tag{13}
$$

$$
\begin{aligned}
& b = c^2[(\tau_3^2 - \tau_2^2) \cdot \sin\alpha_1 \cos\Theta_1 - \\
& -(\tau_1^2 - \tau_3^2) \cdot \sin\alpha_2 \cos\Theta_2 - (\tau_1^2 - \tau_2^2) \cdot \sin\alpha_3 \cos\Theta_3]
\end{aligned} \tag{14}
$$

$$
\begin{aligned}
& c = c^2[(\tau_2^2 - \tau_3^2) \cdot \cos\Theta_1 - \\
& -(\tau_1^2 - \tau_3^2) \cdot \cos\Theta_2 + (\tau_1^2 - \tau_2^2) \cdot \cos\Theta_3] \\
& +(\tau_1^2 - \tau_2^2) \cdot \mathrm{Cos}\ \Theta_3]
\end{aligned} \tag{15}
$$

Віднімаючи з рівняння (4.4) рівняння (4.2), отримаємо:

$$r_4^2 - r_2^2 = 2Rr_n \cdot \sin\alpha_n [(B_{11} - D_{11})\cos\Theta_n + +(B_{12} - D_{12})\cdot\sin\Theta_n + (B_{13} - D_{13})\cdot\cos\alpha_n] \quad (16)$$

Із (16):

$$r_n = \frac{r_4^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin\alpha_n} \times \times \frac{1}{[G_1 \cdot \cos\Theta_n + G_2 \cdot \sin\Theta_n + G_3 \cdot \cos\alpha_n]} \quad (17)$$

$$G_1 = (B_{11} - D_{11})\; G_2 = (B_{12} - D_{12})\; G_2 = (B_{13} - D_{13})$$

Прирівнявши вирази (17) і (6) і зробивши відповідні перетворення, визначаємо кут довготи для радіус – вектора координат пошкодження:

$$[(r_4^2 - r_2^2)\times \times[(B_{13} - A_{13}) - (r_1^2 - r_2^2)(B_{13} - D_{13})]\cdot cos\alpha_n = = [(r_1^2 - r_2^2)\times \times[(B_{11} - D_{11}) - (r_4^2 - r_2^2)(B_{11} - A_{11})]\cdot cos\Theta_n + + [(r_1^2 - r_2^2)[(B_{12} - D_{12}) - (r_4^2 - r_2^2)(B_{12} - A_{12})]\cdot\sin\Theta_n \quad (18)$$

Із (18):

$$\cos\alpha_n = \frac{k\cdot\cos\Theta_n + t\cdot\sin\Theta_n}{d} \quad (19)$$

Прирівнявши вирази (19) і (11) і зробивши відповідні перетворення, визначаємо кут широти для радіус – вектора координат пошкодження:

$$ctq\ \Theta_n = \frac{ct - bd}{ad - ck} \quad (20)$$

звідки:

$$\Theta_n = arc\ ctq \left[\frac{ct - bd}{ad - ck}\right] \quad (21)$$

де, з урахуванням того, що $r_i = c\tau_i$:

$$t = c^2[(\tau_4^2 - \tau_2^2)\cdot\sin\alpha_1 \cos\Theta_1 + +(\tau_1^2 - \tau_4^2)\cdot\sin\alpha_2 \cos\Theta_2 - -(\tau_1^2 - \tau_2^2)\cdot\sin\alpha_4 \cos\Theta_4] \quad (23)$$

$$k = c^2[(\tau_4^2 - \tau_2^2)\cdot\sin\alpha_1 \cos\Theta_1 + +(\tau_1^2 - \tau_4^2)\cdot\sin\alpha_2 \cos\Theta_2 - -(\tau_1^2 - \tau_2^2)\cdot\sin\alpha_4 \cos\Theta_4] \quad (24)$$

$$d = c^2[(\tau_2^2 - \tau_4^2)\cdot cos\Theta_1 - (\tau_1^2 - \tau_4^2)\cdot cos\Theta_2 + +(\tau_1^2 - \tau_2^2)\cdot cos\Theta_4] \quad (25)$$

Висновки. Встановлені залежності дозволяють визначити координати внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми по відомим координатам приймачів зондуючих сигналів, раціональне розташування датчиків зняття інформації і може служити базою для розрахунку технічних засобів експресної оцінки стану біологічного продукту, апріорі, визначити функціональну структуру і параметри цих засобів.

Список використаних джерел

1. Іноземцев Г. Б. Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві / Г. Б. Іноземцев, В. Ф. Яковлев, В. В.Козирський // Навчальний посібник – К.: ТОВ "Аграр Медіа Груп", 2013. – 171 с.

2. Яковлєв В. Ф. Визначення якості сільськогосподарської продукції методом акустичної емісії / В. Ф. Яковлєв // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". - Харків: ХНТУСГ. - 2016.- Вип. 164. - С 75-77.

3. Грешников В. А. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. / В. А. Грешников, Ю. В. Дробот – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 272с.

4. Горшков А. Г. Нестационарная аэрогидроупругость тел сферической формы / А. Г. Горшков, Д. В. Тарлаковский – М.: Наука, 1990. – 264 с.

Анотація

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ФИКСИРОВАННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Яковлєв В. Ф.

Приведены решения предварительно сформулированной подачи по определению координат внутренних повреждений биологических структур растительного происхождения фиксированной геометрической формы

Abstract

DETECTION OF COORDINATES OF BIOLOGICAL STRUCTURE INTERNAL DAMAGES WITH FIXED GEOMETRICAL FORMS BY ACOUSTIC METHOD

V. Yakovlev

Have been given a solution of the listed above problem, to detect coordinates of the internal, plant origin biological structure damages with fixed geometric shapes.