

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 впровадженні сучасних методів і технічних засобів експресного контролю стану продукції, своєчасної вибірки неякісних екземплярів. Одною із якісних ознак 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 розташуванні 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 технічної 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 (рисунок 1) отримаємо систему рівня у сферичних координатах для відповідних радіус-векторів:

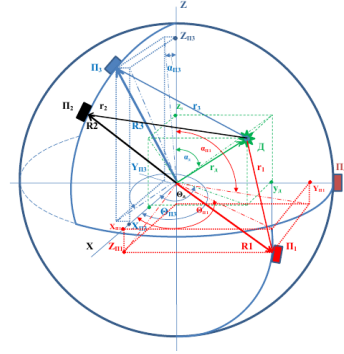


Рисунок 1- Розрахункова модель для визначення координат розташування пошкодження во внутрішній структурі об'єкту

$$\left. \begin{aligned} r_1^2 &= (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \cos \theta_{\Pi} - R_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \cos \theta_1)^2 + \\ &+ (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \sin \theta_{\Pi} - R_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \sin \theta_1)^2 + (r_{\Pi} \cdot \cos \alpha_{\Pi} - R_1 \cdot \cos \alpha_1)^2 \quad (1.1) \\ r_2^2 &= (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \cos \theta_{\Pi} - R_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \theta_2)^2 + \\ &+ (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \sin \theta_{\Pi} - R_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot \sin \theta_2)^2 + (r_{\Pi} \cdot \cos \alpha_{\Pi} - R_2 \cdot \cos \alpha_2)^2 \quad (1.2) \\ r_3^2 &= (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \cos \theta_{\Pi} - R_3 \cdot \sin \alpha_3 \cdot \cos \theta_3)^2 + \\ &+ (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \sin \theta_{\Pi} - R_3 \cdot \sin \alpha_3 \cdot \sin \theta_3)^2 + (r_{\Pi} \cdot \cos \alpha_{\Pi} - R_3 \cdot \cos \alpha_3)^2 \quad (1.3) \\ r_4^2 &= (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \cos \theta_{\Pi} - R_4 \cdot \sin \alpha_4 \cdot \cos \theta_4)^2 + \\ &+ (r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot \sin \theta_{\Pi} - R_4 \cdot \sin \alpha_4 \cdot \sin \theta_4)^2 + (r_{\Pi} \cdot \cos \alpha_{\Pi} - R_4 \cdot \cos \alpha_4)^2 \quad (1.4) \end{aligned} \right\} (1)$$

З використанням [3,4] рішення системи рівнянь (1) в загальному вигляді полягає в наступному. Так як положення випромінювачів-приймачів $\Pi_1 - \Pi_4$ на поверхні об'єкту (рисунок 1) задається, то будуть відомими і їх координати $(R_1 - R_4; \alpha_1 - \alpha_4; \theta_1 - \theta_4)$. Вводячи позначення:

$$\left. \begin{aligned} A_{11} &= \sin \alpha_1 \cdot \cos \theta_1; \quad A_{12} = \sin \alpha_1 \cdot \sin \theta_1; \\ A_{13} &= \cos \alpha_1; \\ B_{11} &= \sin \alpha_2 \cdot \cos \theta_2; \quad B_{12} = \sin \alpha_2 \cdot \sin \theta_2; \\ B_{13} &= \cos \alpha_2; \\ C_{11} &= \sin \alpha_3 \cdot \cos \theta_3; \quad C_{12} = \sin \alpha_3 \cdot \sin \theta_3; \\ C_{13} &= \cos \alpha_3; \\ D_{11} &= \sin \alpha_4 \cdot \cos \theta_4; \quad D_{12} = \sin \alpha_4 \cdot \sin \theta_4; \\ D_{13} &= \cos \alpha_4; \end{aligned} \right\} (2)$$

та враховуючи, що:

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

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

$$\left. \begin{aligned} r_1^2 &= r_{\Pi}^2 + R_1^2 - 2R_1 r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} (A_{11} \cos \Theta_{\Pi} + \\ &+ A_{12} \sin \Theta_{\Pi} + A_{13} \cos \alpha_{\Pi}) \quad (4.1) \\ r_2^2 &= r_{\Pi}^2 + R_2^2 - 2R_2 r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} (B_{11} \cos \Theta_{\Pi} + \\ &+ B_{12} \sin \Theta_{\Pi} + B_{13} \cos \alpha_{\Pi}) \quad (4.2) \\ r_3^2 &= r_{\Pi}^2 + R_3^2 - 2R_3 r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} (C_{11} \cos \Theta_{\Pi} + \\ &+ C_{12} \sin \Theta_{\Pi} + C_{13} \cos \alpha_{\Pi}) \quad (4.3) \\ r_4^2 &= r_{\Pi}^2 + R_4^2 - 2R_4 r_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} (D_{11} \cos \Theta_{\Pi} + \\ &+ D_{12} \sin \Theta_{\Pi} + D_{13} \cos \alpha_{\Pi}) \quad (4.4) \end{aligned} \right\} (4)$$

Віднімаючи з рівняння (4.1) рівняння (4.2) і враховуючи, що $R_1=R_2=R_3=R_4=R$, отримаємо:

$$r_1^2 - r_2^2 = 2Rr_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} [(B_{11} - A_{11}) \cos \Theta_{\Pi} + (B_{12} - A_{12}) \sin \Theta_{\Pi} + (B_{13} - A_{13}) \cos \alpha_{\Pi}] \quad (5)$$

З рівняння (5) визначається вираз для обчислення r_{Π} :

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

За аналогією, віднімаючи з (4.1) рівняння (4.3), отримаємо:

$$r_1^2 - r_3^2 = 2Rr_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} [(C_{11} - A_{11}) \cos \Theta_{\Pi} + (C_{12} - A_{12}) \sin \Theta_{\Pi} + (C_{13} - A_{13}) \cos \alpha_{\Pi}] \quad (7)$$

а із рівняння (7):

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

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

$$\begin{aligned} (r_1^2 - r_2^2) [(C_{11} - A_{11}) \cos \Theta_{\Pi} + (C_{12} - A_{12}) \sin \Theta_{\Pi} + \\ + (C_{13} - A_{13}) \cos \alpha_{\Pi}] = \\ = (r_1^2 - r_3^2) [(B_{11} - A_{11}) \cos \Theta_{\Pi} + \\ + (B_{12} - A_{12}) \sin \Theta_{\Pi} + (B_{13} - A_{13}) \cos \alpha_{\Pi}] \end{aligned} \quad (9)$$

Із (9):

$$\begin{aligned} [(r_1^2 - r_2^2) \times \\ \times [(C_{13} - A_{13}) - (r_1^2 - r_3^2) (B_{13} - A_{13})] \cdot C] \cdot \alpha_{\Pi} = \\ = [(r_1^2 - r_3^2) \times \\ \times [(B_{11} - A_{11}) - (r_1^2 - r_2^2) (C_{11} - A_{11})] \cdot C] \cdot \Theta_{\Pi} + \\ + [(r_1^2 - r_3^2) \times \\ \times [(B_{12} - A_{12}) - (r_1^2 - r_2^2) (C_{12} - A_{12})] \cdot \sin \Theta_{\Pi} \end{aligned} \quad (10)$$

Із (10):

$$\cos \alpha_{\Pi} = \frac{a \cdot \cos \Theta_{\Pi} + b \cdot \sin \Theta_{\Pi}}{p} \quad (11)$$

звідки:

$$\alpha_{\Pi} = \arccos \frac{a \cdot \cos \Theta_{\Pi} + b \cdot \sin \Theta_{\Pi}}{p} \quad (12)$$

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

$$\begin{aligned} a &= c^2 [(\tau_3^2 - \tau_2^2) \cdot \sin \alpha_1 \cos \Theta_1 + \\ &+ (\tau_1^2 - \tau_3^2) \cdot \sin \alpha_2 \cos \Theta_2 - \\ &- (\tau_1^2 - \tau_2^2) \cdot \sin \alpha_3 \cos \Theta_3] \end{aligned} \quad (13)$$

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

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

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

$$r_4^2 - r_2^2 = 2Rr_{\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Pi} [(B_{11} - D_{11}) \cos \Theta_{\Pi} + (B_{12} - D_{12}) \sin \Theta_{\Pi} + (B_{13} - D_{13}) \cos \alpha_{\Pi}] \quad (16)$$

Із (16):

$$r_{\Pi} = \frac{r_4^2 - r_2^2}{2R \cdot \sin \alpha_{\Pi}} \times \frac{1}{[G_1 \cdot \cos \Theta_{\Pi} + G_2 \cdot \sin \Theta_{\Pi} + G_3 \cdot \cos \alpha_{\Pi}]} \quad (17)$$

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

$$G_3 = (B_{13} - D_{13})$$

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

$$[(r_4^2 - r_2^2) \times [(B_{13} - A_{13}) - (r_1^2 - r_2^2)(B_{13} - D_{13})] \cdot C] \cdot \alpha_{\Pi} =$$

$$= [(r_1^2 - r_2^2) \times [(B_{11} - D_{11}) - (r_4^2 - r_2^2)(B_{11} - A_{11})] \cdot C] \cdot \Theta_{\Pi} +$$

$$+ [(r_1^2 - r_2^2) \cdot (B_{12} - D_{12}) - (r_4^2 - r_2^2)(B_{12} - A_{12})] \cdot \sin \Theta_{\Pi} \quad (18)$$

Із (18):

$$\cos \alpha_{\Pi} = \frac{k \cdot \cos \Theta_{\Pi} + t \cdot \sin \Theta_{\Pi}}{d} \quad (19)$$

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

$$\operatorname{Ctg} \Theta_{\Pi} = \frac{ct - bd}{ad - ck} \quad (20)$$

звідки:

$$\Theta_{\Pi} = \arctan \frac{ct - bd}{ad - ck} \quad (21)$$

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

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

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

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

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, апіорі, визначити функціональну структуру і параметри цих засобів.

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. Яковлев В.Ф. Визначення якості сільськогосподарської продукції методом акустичної емісії / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 164 “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України .- Харків: ХНТУСГ. - 2016.- С 75-77.
3. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. Грешников В.А., Дробот Ю.В. – М.: Изд-во стандартов, 1976 – 272с.
4. Горшков А.Г., Тарлаковский Д.В. Нестационарная азрогидроупругость тел. сферической формы – М.: Наука, 1990 – 264 с.

Анотація

ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ВНУТРІШНІХ ПОШКОДЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ФІКСОВАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ АКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

Яковлев В.Ф., к.т.н., професор
Сумський національний аграрний університет

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

Abstract

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

V. Yakovlev
Sumy National Agrarian University

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.