



УДК 631.53.027.34

ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ВНУТРІШНІХ ПОШКОДЖЕНЬ БІООБ'ЄКТІВ АКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

Яковлєв В.Ф., к.т.н.

Сумський національний аграрний університет

Телефон: 066-145-58-62

Анотація. На підставі проведеного аналізу похибок визначення координат внутрішніх пошкоджень обґрунтовано вплив місця розташування перетворювачів при акустичній локації, запропоновані найбільш прийнятні методи розрахунку похибок, які пов'язані з відмінністю реального об'єкту від прийнятої його моделі при розрахунку координат пошкоджень, що надасть можливість підвищити точність пристроїв експресного неруйнівного контролю якості сільгосппродуктів при проектуванні

Ключові слова: акустичний сигнал, швидкість звуку, кут місця, зондуєчий імпульс, середня квадратична-радіальна похибка, лінія положення.

Постановка проблеми. Як було відмічено раніше, що 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 зондуєчого сигналу від налічуваного пошкодження, його глибини залягання, форми та об'єму [1,2,6]. Але такий метод передбачає встановлення обмеженої кількості перетворювачів, які стаціонарно розташовані на досліджуваних біооб'єктах, що призведе до виникнення деяких методичних похибок при визначенні координат пошкоджень.

Тому наукові дослідження, які направлені на визначення методичних похибок при визначенні координат пошкоджень, їх класифікацію та вибір більш раціональних методів вимірювань, що дозволяють значно знизити методичні похибки при проектуванні і надає можливість підвищити точність пристроїв експресного неруйнівного контролю якості сільгосппродуктів, 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



нат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми, складена система вихідних рівнянь, наведено рішення цієї задачі при вільному розташуванні обмеженої кількості перетворювачів [3]. Визначення координат пошкоджень за допомогою обмеженої кількості перетворювачів, які стаціонарно розташовані на біологічному об'єкті, є однією із основних переваг методу неруйнівного контролю на основі акустичного зондування. Але при цьому виникають деякі методичні похибки, які впливають на точність вимірювань координат пошкоджень, що пов'язані з відмінністю реального об'єкту від прийнятої його моделі. Зменшення впливу методичних похибок при вимірюваннях є однією із основних завдань при проектуванні технічних засобів контролю якості сільгосппродуктів. Наведені в джерелах інформації, результати досліджень свідчать проте, що більшість з них хоча і мають глибокі теоретичні проробки, але вони пов'язані з особливостями того чи іншого конкретного пристрою, які не дозволяють узагальнити підхід до питань проектування названих технічних систем.

Викладене вище визначає мету та основні задачі досліджень і дозволяє сформулювати основні принципи побудови названих технічних засобів неруйнівного експресного контролю.

Формулювання цілі статті. Проведення аналізу похибок визначення координат внутрішніх пошкоджень та вплив на їх кількісні значення місця розташування перетворювачів при акустичній локації.

Основні матеріали дослідження. Визначення координат пошкоджень за допомогою обмеженого числом перетворювачів, стаціонарно розташованих на біологічних об'єктах фіксованої геометричної форми, є одним з основних переваг методів неруйнівного контролю на основі акустичного зондування. Але, при цьому, можливе виникнення деяких методичних похибок у визначенні координат, які можна розділити на наступні основні групи : пов'язані з непрямим характером визначення координат; пов'язані з особливостями методу акустичного зондування і обробки сигналів; пов'язані з відмінністю реального об'єкту контролю від прийнятої його моделі [3, 4, 5].

Одним з методів визначення місцезнаходження пошкодження є метод гіперболічного перетину або, так званих, ліній положення [3,4]. В даному випадку, для характеристики розташування перетворювачів зручно вибрати координати точки установки основного перетворювача Π_1 , а кожен додатковий i -й перетворювач характеризувати базою (рис. 1)

$$\Gamma_{\Pi} = \frac{c^2 (\tau_i^2 - \tau_j^2)}{2R \cdot \sin \alpha_{\Pi} (\sin \theta_{\Pi} - \cos \theta_{\Pi})}, \quad (1)$$

$$\mathbf{r}_i = (\mathbf{X}_i + \mathbf{Y}_i + \mathbf{Z}_i)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

і кутами місця:

$$\Theta_n = \arccot \left[\frac{\tau_1^2 + \tau_j^2 - 2\tau_i^2}{\tau_1^2 - \tau_j^2} \right] \quad (3)$$

$$\alpha_n = \arccot (a \cdot \sin \Theta_n - b \cdot \cos \Theta_n) \quad (4)$$

де $a = c^2 [(\tau_k^2 - \tau_j^2) \cdot \sin \Theta_{ij} \cdot \cos \Theta_{ik} + (\tau_i^2 - \tau_k^2) \cdot \sin \Theta_{ij} \cdot \cos \Theta_{ik} - (\tau_i^2 - \tau_j^2) \cdot \sin \Theta_{ik} \cdot \cos \Theta_{jk}]$ (5)

$b = c^2 [(\tau_k^2 - \tau_j^2) \cdot \sin \alpha_i \cos \Theta_i - [(\tau_i^2 - \tau_k^2) \cdot \sin \alpha_j \cos \Theta_j - (\tau_i^2 - \tau_j^2) \cdot \sin \alpha_k \cos \Theta_k]$ (6)

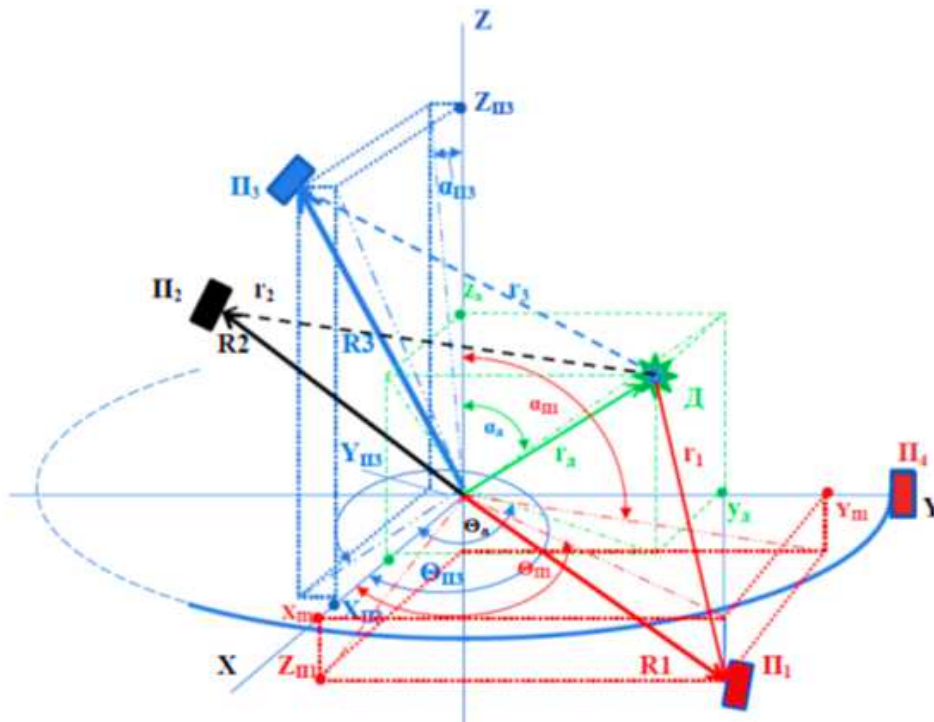


Рис. 1. Розрахункова модель для визначення координат розташування пошкодження методом ліній положення

При цьому, середня квадратична похибка визначення лінії положення

$$Y_{pi} = \frac{Y_{ni}}{g_i}, \quad (7)$$

де Y_{ni} - середня квадратична похибка виміру параметра, який визначає i -ю лінію положення;

g_i - модуль градієнта функції, який характеризує лінію положення.



Середня квадратична радіальна похибка визначення положення об'єкту по двох лініях положення

$$Y_r = \frac{\sqrt{Y_{pi}^2 + Y_{pj}^2}}{\sin \alpha_{ij}}, \quad (8)$$

де α_{ij} - кут перетину ліній положення.

При використанні великої кількості (n) незалежних ліній положення

$$Y_r = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{Y_{pi}^2}{\sin^2 \alpha_{i,i+1}}}, \quad (9)$$

де $\alpha_{i,i+1}$ -кути перетину відповідних ліній положення в точці знаходження об'єкту.

Параметром, що визначає лінію положення, є часова затримка

$$Y_{ni} = Y_{ti} \cdot c, \quad (10)$$

де Y_{ti} - середня квадратична похибка виміру часової затримки;

c - швидкість звуку в матеріалі, м/с

Враховуючи, що функція, яка характеризує лінію положення, має вигляд

$$(r_i - r_n), \quad (11)$$

Модуль градієнту цієї функції

$$g(r_i - r_n) = 2 \sin \frac{\theta_i}{2}, \quad (12)$$

де θ_i - кут, під яким з точки пошкодження видно базу перетворювача (рис. 1). Тоді

$$Y_{pi} = \frac{Y_{ti} \cdot c}{2 \sin \frac{\theta_i}{2}}. \quad (13)$$

При використанні мінімально необхідної кількості перетворювачів і однакових похибках



$$Y_{p1} = Y_{p2} = Y_{p3} = Y_{pi}. \quad (14)$$

середня квадратична радіальна похибка буде мати вид

$$Y_r = \frac{\sqrt{2}Y_p}{\sin\alpha_{ij}}. \quad (15)$$

Для трьох незалежних ліній положення ($i=2, 3, 4$) за вказаних умов

$$Y_r = \frac{\sqrt{3}Y_p}{\sqrt{\sin^2\alpha_{ij} + \sin^2\alpha_{jk} + \sin^2\alpha_{ik}}}, \quad (16)$$

причому: $\alpha_{ij} + \alpha_{jk} + \alpha_{ik} = 2\pi$

Друга група методичних погрішностей обумовлена особливостями сигналів акустичного зондування, викликаних реальними дефектами, і принципами побудови вимірювальної апаратури.

Висновки. Проведені теоретичні дослідження свідчать про те, що радіальна похибка локації пошкодження буде мінімальною, якщо: взаємне розташування перетворювачів забезпечить максимум площі контакту робочої області перетворювача з контрольованим об'єктом; взаємне розташування перетворювачів знаходитиметься в тій частині об'єкту, де розташовані лінії мінімальної рівної похибки.

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. *Яковлев В.Ф.* Визначення координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми акустичним методом/ *В.Ф. Яковлев* / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175“Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України .- Харків: ХНТУСГ. - 2016.- С 97-99.

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.

5. *Іноземцева Г.Б.* Технологія наукових досліджень енергетичних систем в аграрному виробництві: Навчальний посібник. / *Г.Б. Іно-*



земцев, В.В.Козирський. За редакцією Г.Б. Іноземцева. – К.: ТОВ «Аграр Медія Груп», 2011. – 198 с.

6. Kontrola jakości owoców V.F. Jakovlev, A.N. Terechov (Tawrijskaja Derśavna Agrotechnična Arademija w. Melitopolu (Ukraina). Ekologiczne aspekty, mechanizacji nawożenia ochrony roślin i uprawy gleby: 111 Miedzynarodowe sympozjum /Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa Warszawa, 25 wrzesnia 1996 s.231-235.

ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ БИООБЪЕКТОВ АКУСТИ- ЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Яковлев В.Ф.

Аннотация – на основе проведенного анализа погрешностей определения координат внутренних повреждений обосновано влияние места расположения преобразователей при акустической локации, предложены наиболее рациональные методы расчета погрешностей, которые связаны с отличием реального объекта от принятой его модели при расчете координат повреждений, что дает возможность повысить точность устройств экспрессного неразрушающего контроля качества сельхозпродуктов при проектировании.

THE ERRORS OF DETERMINATION OF COORDINATES INTERNAL DAMAGE OF BIOLOGICAL OBJECTS BY ACOUSTIC METHOD

Yakovlev V.

Summary

On the basis of the conducted analysis of errors of definition of coordinates of internal damage based on the impact of the location of the acoustic transducers at the locations proposed by the most rational methods of calculation of errors associated with the difference of a real object from that adopted its model in the calculation of the coordinates of the damage that gives you the opportunity to improve the accuracy of the devices for rapid non-destructive quality control of agricultural products in the design.