



УДК 631.52:681.586.4

DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-18

АКУСТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ВНУТРІШНІХ ПОШКОДЖЕНЬ РОСЛИННИХ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Яковлєв В. Ф., к. т. н.<http://orcid.org/0000-0001-5261-4432>*Сумський національний аграрний університет*

e-mail: kfizika@ukr.net

Анотація - отримання продукції сільського господарства високої якості вимагає забезпечення технологічного процесу (виробництва, переробки, зберігання) достатнім рівнем якісних ознак початкової сировини, контролем якості продукції на проміжних і кінцевих операціях.

Для оцінки якісних і кількісних ознак сільськогосподарської продукції застосовуються різні фізичні методи (органолептичні, оптичні, електричні, фізико-механічні, хімічні та ін.), з великого числа яких, особливе місце займають акустичні методи (зокрема, імпульсні методи), що дуже інтенсивно розвиваються нині. Однією з причин широкого поширення акустичних методів полягає в тому, що властивості продуктів (як біологічних об'єктів), що визначають збудження і поширення пружних коливань, тісно пов'язані з їх анатомічною структурою і фізико-біохімічними характеристиками. Це дозволяє глибше дослідити зв'язок між якісними ознаками, а саме, визначення наявності внутрішніх пошкоджень в об'єктах фіксованої геометричної форми і параметрами акустичного зондування, сформулювати основні принципи побудови технічних засобів неруйнівного експресного контролю в технологічному потоці.

В статті обґрунтовано можливість побудови просторової моделі тракту зондування біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми з внутрішніми пошкодженнями, основні рівняння зв'язку параметрів післядії ударного збудження цих об'єктів з формою, об'ємом і глибиною залягання внутрішніх пошкоджень, теоретична база проведення експериментальних досліджень і можливість технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якісних ознак сільськогосподарської продукції. Наведено акустичну модель тракту, з урахуванням впливу компонентів структури непошкодженої частини об'єктів та зонами пошкоджень різних стадій розвитку. Наведено приклад реалізації тракту зондування з постійними базовими параметрами.

Ключові слова: акустичний сигнал, система сферичних координат, ударне збудження, коефіцієнт поглинання, частота, швидкість звуку, мода коливань, компоненти структури, просторова модель, тракт акустичного зондування, експресний неруйнівний контроль.

Постановка проблеми. Стандарти на продукцію сільського господарства вимагають забезпечення технологічних процесів (виробництва, переробки, зберігання) достатнім рівнем якісних ознак початкової сировини, контролем якості продукції на проміжних і



кінцевих операціях. До таких якісних ознак, а саме, рослинних біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми відносяться: зрілість, цілісність, наявність тріщин, загнивання (внутрішніх та на поверхні об'єкту), місць поразки захворюваннями, які можуть виникати як у період дозрівання на кореню, так і під час збору, транспортуванні, навантаженні і розвантаженні продукції та виконанні інших операцій.

Показники якості продукції встановлених стандартами передбачають у своїй більшості, або органолептичні методи оцінки, що вимагають певних навичок від особи, що виконує контроль, або хімічні методи аналізу, які потребують значних витрат часу на їх проведення. Це не дозволяє оперативного управляти технологічним процесом. Крім того, в існуючих методах і засобах контролю практично не знаходиться відображення взаємозв'язок принципів організації технологічних операцій із станом продукту, тобто з його біофізичними параметрами. Поки ще в окремих випадках в стандарти вводяться фізико-хімічні показники, визначувані експрес - методами за допомогою технічних засобів.

Для забезпечення високої якості продукції сільського господарства потрібні надійні і оперативні технічні засоби, що дозволяють проводити експресний фізико-біохімічний аналіз. Рішення цієї складної задачі можливе лише при широкому впровадженні сучасних і розробці нових методів і технічних засобів, що дозволяють автоматизувати не лише процес виміру якісних ознак продукту, але і технологічний процес в цілому.

Тому наукові дослідження, які спрямовані на створення ефективних технічних засобів, що забезпечують не лише високу точність інформації про якісні ознаки, але і екологічно чистих, енерго- і ресурсозберігаючих технологічних систем зондування і обробки сільськогосподарської продукції актуальні і мають важливе народногосподарське значення.

Такі технічні системи можна створювати, використовуючи акустичні методи (зокрема, імпульсні методи), що дуже інтенсивно розвиваються нині. Однією з причин широкого поширення акустичних методів полягає в тому, що властивості продуктів (як біологічних об'єктів), що визначають збудження і поширення пружних коливань, тісно пов'язані з їх анатомічною структурою і фізико-біохімічними характеристиками і можуть бути відображені в просторі параметрів акустичного поля [1, 6, 8, 9, 10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цілий ряд вчених внесли суттєвий вклад в дослідження, які пов'язані із застосуванням



акустичних методів контролю, досліджень по вивченню взаємозв'язків якісних і кількісних ознак сільськогосподарських продуктів з параметрами акустичного поля. Проте, необхідно відмітити, що як технічні засоби, так і технологічні установки з використанням акустичного поля не мають промислових аналогів і знаходяться у стадії проектно-конструкторських розробок і досліджень або, у кращому разі, мають макетні зразки.

Аналіз наведених в джерелах інформації результатів досліджень свідчить проте, що незважаючи на велику кількість робіт, які присвячені пошуку методів та розробці електроакустичних систем експресного аналізу якості сільськогосподарської продукції, а саме визначення наявності внутрішніх пошкоджень біологічних об'єктів рослинного походження, більшість з яких не має глибоких теоретичних проробок, що дозволяють з єдиних позицій підійти до питань проектування названих систем, прогнозувати отримання визначеного технічного або економічного ефекту, систематизувати та уніфікувати систему технічних засобів експрес-контролю. Налічувані в літературних джерелах свідчення по дослідженням фізико-математичних моделей, теоретичних передумов описання процесів збудження продукту і зняття інформативного сигналу щодо якісних ознак роздрібно, а порою протилежні і недостатні для їх узагальнення та практичної реалізації. Дослідження, що ведуться, спрямовані на підвищення ефективності використання акустичного поля в сільгоспвиробництві не відображають можливості, що відкриваються від їх комплексного застосування в структурі системи технологічного процесу і технічного засобу. Ці дослідження торкаються окремих діапазонів акустичного поля і не взаємозв'язаних операцій і, отже, їх результати не можуть зробити достатнього впливу на увесь комплекс технічного і методичного забезпечення застосування акустичного поля для досягнення необхідної якості технологічного процесу в сільськогосподарському виробництві і, зокрема, технологіях переробки сільгосппродукції [1,5].

Викладене вище визначає мету та основні задачі досліджень і дозволяє глибше дослідити зв'язок між якісними ознаками, а саме визначення наявності внутрішніх пошкоджень, продуктів фіксованої геометричної форми і параметрами акустичного зондування, сформулювати основні принципи побудови технічних засобів неруйнівного експресного контролю в технологічному потоці.

Формулювання мети статті. Обґрунтування можливості побудови просторової моделі тракту зондування біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми з внутрішніми пошкодженнями,



основних рівнянь зв'язку параметрів післядії ударного збудження цих об'єктів з формою, об'ємом і глибиною залягання внутрішніх пошкоджень, підготовки теоретичної бази проведення експериментальних досліджень і можливості технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якісних ознак сільськогосподарської продукції.

Основні матеріали досліджень. Як відомо, в період дозрівання на кореню, збору, транспортуванні, навантаженні і розвантаженні та інших операцій в біологічних об'єктах фіксованої геометричної форми можуть виникати локальні (визначених розмірів по поверхні і об'єму) механічні пошкодження: тріщини, загнивання (внутрішні та на поверхні об'єкту), місця поразки захворюваннями, що є одною із ознак не відповідності стандарту якості даного виду продукту. Особливий інтерес представляє можливість визначення наявності механічних пошкоджень та захворювань на стадії сортування, тобто безпосередньо після збору об'єктів та перед завантаженням на технологічну переробку.

Вище було відмічено, що для визначення якісних ознак продуктів застосовуються різні методи контролю, із яких найбільш перспективними є акустичні, основна перевага яких заключається в точності, швидкості, можливості вимірювання без зупинки виробничих процесів [1].

Проведеними експериментальними дослідженнями [3,4,9,10]. встановлено, що компоненти структури пошкоджених ділянок рослинних біологічних об'єктів мають відмінні від здорових та непошкоджених ділянок фізико-механічні параметри (щільність, пружність та ін). Ця відмінність, безпосередньо та в значній мірі, буде впливати на картину акустичного поля при трансформації зондуючого сигналу через досліджуваній біологічних об'єктів. А це, в свою чергу, дає можливість по картині акустичного поля оцінювати наявність внутрішніх пошкоджень, їх форм та об'ємів.

З урахуванням поставленої задачі контролю якісних ознак біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми, а саме, визначення наявності механічних пошкоджень та захворювань, місць знаходження пошкоджень та їх форми по параметрам акустичного поля необхідно розглянути наступні питання: моделювання видів пошкоджень; визначити тип зондуючого сигналу; визначення точки збудження об'єкту та точки зняття інформації; трансформацію зондуючого сигналу через біологічний об'єкт; визначення картин акустичного поля при наявності різних видів пошкоджень.



В роботах [1,6,8,9,10] було визначено, важливі для розглядуваного питання, тип зондуючого сигналу; точки збудження об'єкту та точки зняття інформації; трансформацію зондуючого сигналу через біологічний об'єкт; визначення картин акустичного поля рослинних біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми різного ступеню зрілості та наявності поверхових видів пошкоджень. Встановлено також, що найбільш прийнятним для збудження хвильових процесів є імпульсна дія на об'єкт, а зняття інформаційного сигналу здійснювати по його периметру.

При розрахунках акустичного поля біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми, які мають внутрішні пошкодження, необхідно враховувати акустичну модель внутрішньої структури об'єкту, що характеризує її відбиваючі та поглинаючі властивості. В свою чергу, акустичні властивості компонентів структури об'єктів (кори, м'якоті, плаценти з насінням, області пошкоджень тканин, повітряні порожнини), які визначаються, поперед усього, просторовою моделлю складових компонентів, тобто сукупністю їх геометричних характеристик.

При акустичному моделюванні структури об'єкту геометричні характеристики компонентних зон передбачаються постійними у конкретному досліджуваному об'єкті, тобто на всій протяжності акустичного тракту. Тоді коефіцієнти відбиття звуку від компонентної зони не зміняться вдовж тракту проходження зондуючого сигналу, тобто зона є акустично однорідною. Ці передумови прийняті і для фізико-механічних характеристик компонентів структури біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми (E , μ , K , ρ). Така модель об'єкту в практичному додатку фізично виправдана.

Суттєво інша ситуація має місце у випадку наявності внутрішніх пошкоджень об'єктів та різниці їх ступеню зрілості. Внаслідок різниці у фізико-механічних та біохімічних властивостей об'єктів різних фракцій по стиглості, а також у зв'язку з наявністю пошкоджених ділянок, просторова структура характеризується наявністю значної неоднорідності та сортовою відмінністю [4,9]. Для зрілої фракції об'єктів характерна наявність таких зон, як оболонка, що створюється корою (в залежності від розмірів та сорту об'єктів, товщина якої змінюється в інтервалі 0,6...2,5 см), м'якоті, плаценти з насінням, що мають різну товщину та нерівномірність фізико-механічних характеристик по об'ємній протяжності. Можливо наявність газової порожнини в центральній частині об'єкту у стадії перезрівання.

У ще більшій ступені змінність просторових, та як наслідок, акустичних характеристик спостерігається в об'єктах з наявністю зон



пошкодження. Крім того, спостерігається змінність геометричних та фізико-механічних характеристик на границях розділу вище названих зон, які неможливо окреслити однозначно.

У даній роботі побудовано просторові моделі компонентних зон, характеристики яких визначаються щільністю перерізу пошкодження, площиною перерізу пошкодження та глибиною (протяжністю) пошкодження. Крім того, враховано наявність (поперед та за) різної протяжності непошкоджених компонентів зон, які впливають на сумарну відбиваючу здібність пошкодження і глибину його розміщення.

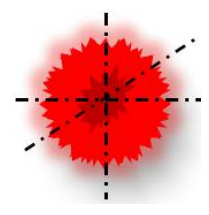
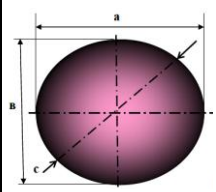
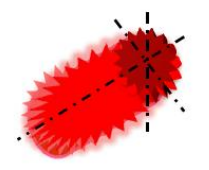
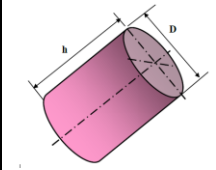
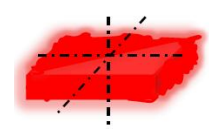
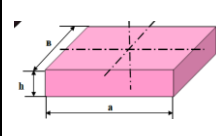
Для побудови просторової та, відповідно, акустичної моделі об'єкту з пошкодженням запропоновано виділяти зони, у границях яких зберігаються практично незмінними основні (базові) параметри пошкоджень: стадії розвитку пошкодження, щільністю перерізу та геометричні характеристики. Кожна зона (в площині екваторіального перерізу об'єкту) характеризується середнім коефіцієнтом відбиття звуку в інтервалі зміни діаметру об'єкту $D^{\min} \dots D^{\max}$ у даній класифікації по ступеню зрілості. Таким чином, акустично неоднорідна компонентна зона замінюється частково однорідною, яка складається із кінцевої кількості послідовно з'єднаних компонентних зон, у границях яких коефіцієнт відбиття є постійним, але змінюється від площі екваторіального перерізу об'єкту.

Тоді просторова модель пошкоджень може бути представлена у вигляді послідовності площин екваторіального перерізу F_i , у якій задані наступні характеристики пошкоджень: площа перерізу пошкодження (паралельно екваторіальному та нормального до напрямку зондуючого сигналу) $\Delta S_{ij} = S_{ij}^{\min} - S_{ij}^{\max}$, щільність перерізу пошкодження $\Delta \rho_{ij} = \rho_{ij}^{\min} - \rho_{ij}^{\max}$ кожної із стадій розвитку пошкодження та протяжністю пошкодження $\Delta h_{ij} = h_{ij}^{\min} - h_{ij}^{\max}$, де індекс i – характеризує номер площі екваторіального перерізу F_i , а індекс j – стадію розвитку пошкодження. Слід відмітити, що урахування в просторовій моделі тих чи інших стадій розвитку і форми пошкодження в значній мірі визначається діапазоном частот, що використовуються при акустичному зондуванні.

Типи можливих моделей внутрішніх пошкоджень з урахуванням прийнятих формулювань наведено на рисунках таблиці 1.

Таблиця 1

Типи можливих моделей внутрішніх пошкоджень рослинних біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми

| Тип пошкодження | Просторові характеристики | Площа екваторіального перерізу біологічного об'єкту, F_{cp} | Відношення розмірів пошкодження | Загальний вигляд пошкодження | Просторова модель пошкодження |
|-----------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|--|---|
| Сфера | Щільність перерізу | $\rho_{ij}^{min} \dots \rho_{ij}^{max}$ 904,0...978,5 кг/м ³ | a:v:c = 1,06:1,0:1,0 |  |  |
| | Площа перерізу пошкодження | $S_{ij}^{min} \dots S_{ij}^{max}$ $S = \pi a^2 / 4$ 38,5...176,6 мм ² | a:v:c = 1,06:1,0:1,0 | | |
| | Протяжність (глибина) пошкодження | $h_{ij}^{min} \dots h_{ij}^{max}$ 7 ... 15 мм | a:v:c = 1,06:1,0:1,0 | | |
| Циліндр | Щільність перерізу | $\rho_{ij}^{min} \dots \rho_{ij}^{max}$ 904,0...978,5 кг/м ³ | D : h = 1 : 2 |  |  |
| | Площа перерізу пошкодження | $S_{ij}^{min} \dots S_{ij}^{max}$ $S = \pi D^2 / 4$ 4,9...44,2 мм ² | D : h = 1 : 2 | | |
| | Протяжність (глибина) пошкодження | $h_{ij}^{min} \dots h_{ij}^{max}$ 5 ... 15 мм | D : h = 1 : 2 | | |
| Пластина | Щільність перерізу | $\rho_{ij}^{min} \dots \rho_{ij}^{max}$ 904,0...978,5 кг/м ³ | a:v:h = 1,0:1,0 (0,5):0,25 |  |  |
| | Площа перерізу пошкодження | $S_{ij}^{min} \dots S_{ij}^{max}$ $S = a \cdot b$ 72,0...392,0 мм ² | a:v:h = 1,0:1,0 (0,5):0,25 | | |
| | Протяжність (глибина) пошкодження | $h_{ij}^{min} \dots h_{ij}^{max}$ 3 ... 7 мм | a:v:h = 1,0:1,0 (0,5):0,25 | | |

В якості ілюстрації, нижче наведено приклад використання акустичного методу, який дозволяє отримати картину внутрішньої структури біологічного об'єкту фіксованої геометричної форми (наприклад, сферичної форми), при дії на об'єкт в певній точці гармонійної сили або одиночного імпульсу. В результаті, як всередині, так і на поверхні об'єкта виникають коливання, які характеризуються коливальною швидкістю U і звуковим тиском P . Для якісних біологічних об'єктів картина акустичного поля поверхні має певний характерний вигляд (рисунок 1 а, в). У разі наявності внутрішніх або поверхневих пошкоджень картина поля істотно

змінюється (рисунок 1 б, г) за рахунок розсіювання і часткового поглинання енергії звукової хвилі на зустрічному дефекті. Так як пошкодження можуть мати різну форму і об'єм, займаний всередині об'єкта (рисунок 1б), то можливі дефекти, з певним ступенем наближення, змодельовані в сукупність геометричних тіл (сфера, циліндр, пластина т. і. (див. рисунки табл. 1). Експериментальними дослідженнями встановлено, що характеристики компонентів структури плодів (ρ - щільність, α, μ - коефіцієнти пружності пошкоджених тканин) значною мірою відрізняються від якісних структур [8,9,10]. Це розходження проявляється і в параметрах акустичного поля.

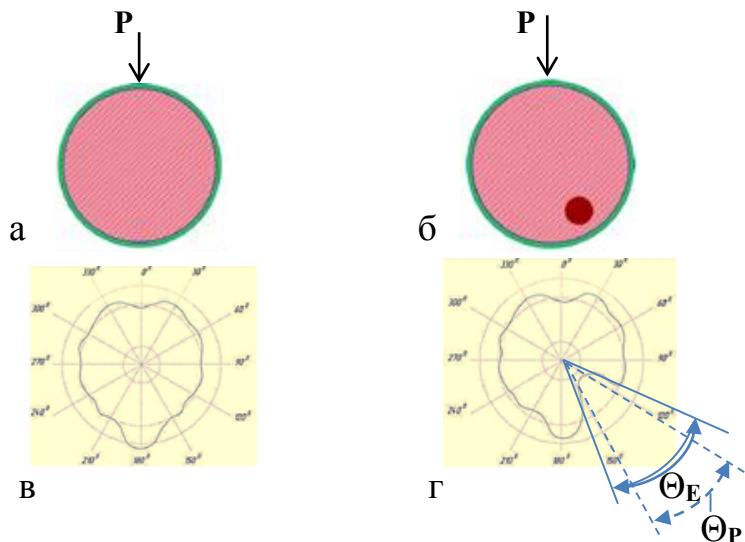


Рис. 1. Полярні діаграми коливань біологічного об'єкту, фіксованої геометричної форми: а, в – непошкодженого; б, г – який має внутрішнє пошкодження типу «сфера»

Функція, що задовольняє хвильовому рівнянню:

$$\Delta\Phi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2\Phi}{\partial\tau^2} = 0, \quad (1)$$

граничним умовам та умовам випромінювання при пошкодженні типу «сфера», з урахуванням положень [2,7] складається із сукупності функцій, які визначають падаючу $\Phi_{\text{п}}(\mathbf{r}, \tau)$ і розсіяну $\Phi_{\text{р}}(\mathbf{r}, \tau)$ хвилі:

$$\Phi(\mathbf{r}, \tau) = \Phi_{\text{п}}(\mathbf{r}, \tau) + \Phi_{\text{р}}(\mathbf{r}, \tau) \quad (2)$$

де $\Phi, \Phi_{\text{п}}, \Phi_{\text{р}}$ – відповідно, потенціали швидкості сумарної, падаючої та розсіяної хвиль; \mathbf{r} – радіус-вектор; τ – час.

Застосовуючи розклад сумарної хвилі в ряд по поліномам Лежандра та використовуючи сферичні функції Бесселя і Ханкеля m -го порядку, рівняння (2) можна представити в розгорнутому вигляді наступним виразом:

$$\Phi = e^{j\omega\tau} \sum_{n=0}^{\infty} (2m+1) J^{-m} P_m \cos \theta [D_m^J(kr) \varphi_m^J(kr) + \left(\frac{D_m^J(kr)}{-J D_m^H(kr)} \right) \left(\frac{\varphi_m^J(kr)}{\exp(-J \varphi_m^H(kr))} \right) (-J D_m^H(kr) e^{-j\varphi_m^H(kr)})], \quad (3)$$

де $D_m^J(kr)$, $\varphi_m^J(kr)$ – відповідно, модуль і фаза функції Бесселя (J) і Ханкеля (H) та їх похідних (J' , H'); k – хвильове число; ω – кутова частота; τ – час.

Коливальна швидкість поверхні об'єкту для даного випадку буде мати наступний вигляд:

$$\dot{U}_{r=a} = -k e^{-j\omega\tau} \sum_{n=0}^{\infty} (2m+1) J^{-m} P_m \cos \theta [D_m^J(kr) \varphi_m^J(kr) + \left(\frac{D_m^J(kr)}{-J D_m^H(kr)} \right) \left(\frac{\varphi_m^J(kr)}{\exp(-J \varphi_m^H(kr))} \right) (-J D_m^H(kr) e^{-j\varphi_m^H(kr)})]. \quad (4)$$

Після відповідних підстановок, перетворень та з урахуванням зміни радіус-вектора r по визначеній залежності, отримано вираз для розрахунку значень коливальної швидкості поверхні об'єкту при наявності внутрішнього пошкодження типу «сфера»:

$$U = \frac{1,4}{r^*} \left[1 + 1,2 \sqrt{\cos^2 \theta + 12,9 \operatorname{ctg}^2 \frac{k(r^*+a)}{2}} \times \cos\left(\theta + \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{3,6 \operatorname{ctg} \frac{k(r^*+a)}{2}}{\cos \theta}\right) \right] \sin \frac{k(r^*+a)}{2} \cos \frac{2\omega\tau + k(r^*+a)}{2}, \quad (5)$$

де θ – полярний кут сферичної системи координат; a – радіус пошкодження; r^* – відстань від центру пошкодження до розглядуваної точки поверхні об'єкту.

За виразом (5) при значеннях, які отримано при експериментальних дослідженнях [3,4,10] побудовані полярні



діаграми коливань зрілого плоду кавуна при наявності внутрішнього пошкодження типу «сфера» (рисунок 1г). Картини акустичного поля побудовано і для інших видів внутрішніх пошкоджень.

Висновки. Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки:

1. В напрямку поширення хвилі спостерігається передача значної енергії на тінюву сторону дефекту в певному створі кута θ , а також розсіяння енергії хвилі з тінювої сторони дефекту (рисунок 1г).

2. При порівнянні розрахункової діаграми з експериментальною (рисунок 1г) спостерігається відмінність, як за значенням тілесного кута "тіні" (Θ_P – розрахункове значення; Θ_E – експериментальне значення), так і за значенням інтенсивності коливань в 1,2..1,4 рази.

3. Моделюючи ушкодження у формі різних геометричних тіл (циліндра, еліпсоїд, паралелепіпед тощо) і проводячи відповідні теоретичні дослідження можна отримати (з певною похибкою) вирази для визначення розрахункових значень коливальної швидкості поверхні біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми, при наявності пошкоджень, для побудови полярних діаграм. А це, в свою чергу, дає можливість планування проведення експериментальних досліджень і, як наслідок, можливість технічної реалізації методу.

Список використаних джерел

1. *Іноземцев Г. Б., Яковлев В. Ф., Козирський В. В.* Застосування акустичних технологій в агарному виробництві: навч. посібник. Київ, 2013. 171 с.

2. *Лепендин Л. Ф.* Акустика. Москва: Высшая школа, 1978. 448 с.

3. *Jakovlev V. F., Terechov A. N.* Kontrola jakosci owocow. *Ekologiczne aspekty, mechanizacji nawozenia ochrony roslin i uprawy gleby*: 111 Miedzynarodowe sympozjum (Warszawa, 25 wrzesnia 1996). P. 231-235.

4. The acoustic control of fruit damage / *V. F. Jakovlev, I. P. Nazarenko, M. V. Yakovleva, A. N. Terechov.* *Sistemy mikroprocesorowe wrolnictwie*: 2nd conference on microprocessor systems in agriculture. Conference materials. (Plock, Poland, 18-19 September 1997). P. 113-117.

5. *Яковлев В. Ф., Максимочкин Г. И.* Разработка акустического метода и устройства для экспрессного анализа качества плодов бахчевых культур. *Применение ультразвуки к исследованию веществ*. Москва, 1986. С. 54-59.

6. А.с. № 1291866 СССР, МКИ⁴ G01N29/00. Способ определения зрелости и поврежденности плодов / В. Ф. Яковлев, И. Ф. Бородин,



Г. И. Максимочкин. № 3703697/28-13; заявл. 20.02.84; опубл. 23.02.87.
Б. И. № 7.

7. Лав А. Математическая теория упругости. Москва: ОНТИ, 1935. 751 с.

8. Яковлев В. Ф. Визначення якості сільськогосподарської продукції методом акустичної емісії. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. Харків, 2015. Вип. 164. С. 75-77.

9. Яковлев В. Ф. Визначення координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми акустичним методом. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. Харків, 2016. Вип. 175. С. 97-99.

10. Яковлев В. Ф. Визначення якісних ознак біологічних структур фіксованої геометричної форми імпульсним методом. *Вісник СНАУ Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів*. Суми, 2018. Вип. 5 (33). С. 66-73.

АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Яковлев В. Ф.

Аннотация - получение продукции сельского хозяйства высокого качества требует обеспечения технологического процесса (производства, переработки, хранения) достаточным уровнем качественных признаков исходного сырья, контролем качества продукции на промежуточных и конечных операциях.

Для оценки качественных и количественных признаков сельскохозяйственной продукции применяются разные физические методы (органолептические, оптические, электрические, физико-механические, химические и др.), из большого числа которых, особое место занимают акустические методы (в частности, импульсные методы), которые очень интенсивно развиваются в настоящее время. Одной из причин широкого распространения акустических методов заключается в том, что свойства продуктов (как биологических объектов), которые определяют возбуждение и распространения упругих колебаний, тесно связаны с их анатомической структурой и физико-биохимическими характеристиками. Это позволяет глубже исследовать связь между качественными признаками, а именно, определения наличия внутренних повреждений, в объектах фиксированной геометрической формы и параметрами акустического зондирования, сформулировать основные принципы построения технических средств неразрушающего экспрессного контроля в технологическом потоке.

В статье обоснована возможность построения пространственной модели тракта зондирования биологических объектов фиксированной геометрической формы с внутренними повреждениями, основные уравнения связи параметров последствия ударного возбуждения этих объектов с формой, объемом и глубиной залегания внутренних повреждений, теоретическая база проведения экспериментальных исследований и возможность технической реализации



устройств экспрессного неразрушающего контроля качественных признаков сельскохозяйственной продукции. Приведена акустическая модель тракта, с учетом влияния компонентов структуры неповрежденной части объекта и зонами повреждений различных стадий развития. Приведен пример реализации тракта зондирования с постоянными базовыми параметрами.

Ключевые слова: акустический сигнал, система сферических координат, ударное возбуждение, коэффициент поглощения, частота, скорость звука, мода колебаний, компоненты структуры, пространственная модель, тракт акустического зондирования, экспрессный неразрушающий контроль.

ACOUSTIC METHOD OF DETERMINATION OF FORM OF INTERNAL DAMAGES OF VEGETABLE BIOLOGICAL OBJECTS

V. Yakovlev

Summary

The production of high quality agricultural products requires the provision of a technological process (production, processing, storage) with a sufficient level of qualitative attributes of the raw materials, quality control of products at intermediate and final operations.

Different physical methods (organoleptic, optical, electrical, physicomachanical, chemical, etc.) are used to evaluate the qualitative and quantitative characteristics of agricultural products, out of a large number of which, acoustic methods (in particular, impulse methods), which are very intensive are developing now. One of the reasons for the widespread use of acoustic methods is that the properties of products (as biological objects), which determine the excitation and propagation of elastic oscillations, are closely related to their anatomical structure and physico-biochemical characteristics. This allows a deeper study of the relationship between qualitative signs, namely, the determination of the presence of internal damage, in objects of a fixed geometric shape and the parameters of acoustic sounding, to formulate the basic principles for constructing technical means of non-destructive express control in the process flow.

The article substantiates the possibility of constructing a spatial model of the path for sensing biological objects of a fixed geometric shape with internal damage, the basic equations for the connection parameters of shock excitation effects of these objects with the shape, volume and depth of internal damage, the theoretical basis for experimental research and the possibility of technical implementation of express nondestructive testing devices quality signs of agricultural products. An acoustic model of the tract is given, taking into account the influence of the components of the structure of the intact part of the object and damage zones of various stages of development. An example of a sounding path implementation with constant basic parameters is given.

Keywords: acoustic signal, system of spherical coordinates, shock excitation, asorptance, frequency, speed of sound, fashion of vibrations, component of structure, spatial model, highway of the acoustic sounding, express non-destructive control.