

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ
ТА ПАРАМЕТРАМИ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ ВІЛЬНИХ
КОЛИВАНЬ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ФІКСОВАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

В.Ф. Яковлєв, к.т.н., професор

Рясна О.В.

Сумський національний аграрний університет

Якість продукції, що йде як на реалізацію населенню, так і в якості початкової сировини для технологічної переробки, є одним з найважливіших показників рівня розвитку сільськогосподарського виробництва. Такі якісні ознаки продукції, особливо фіксованої геометричної форми, як ступень стиглості, наявність та глибина розташування пошкоджень, не завжди можливо визначити по зовнішньому стану продукту (наприклад, баштанні) без його руйнування. Це не дозволяє оперативно 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.

Позитивне вирішення цієї задачі можливо лише при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів неруйнівного експресного контролю якісного стану продукції, а саме, їх ступені стиглості. Одним із таких методів є метод акустичного зондування, який полягає в тому, що параметри післядії ударного збудження біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми тісно пов'язані з їх фізико-біохімічними характеристиками, які в свою чергу, змінюються в процесі зміни їх ступеню стиглості.

Викладений матеріал представляє результати експериментальних досліджень по встановленню зв'язків між фізико-механічними властивостями біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми різного ступеня зрілості і параметрами післядії їх ударного збудження, визначенню інформативних критеріїв при оцінці якісного стану об'єктів та їх кількісних значень.

Ключові слова: амплітудно-частотний спектр коливань, параметри акустичного поля, акустичне зондування, ударне збудження, коефіцієнт поглинання, частота, мода коливань, асиметрія, ексцес.

Постановка проблеми. Якість продукції, що йде як на реалізацію населенню, так і в якості початкової сировини для технологічної переробки, є одним з найважливіших показників рівня розвитку сільськогосподарського виробництва. Показники якості продукції встановлюються стандартами, що передбачають у своїй більшості, або органолептичні методи оцінки, що вимагають певних навичок від особи, що виконує контроль, або хімічні методи аналізу, тривалість проведення яких дуже велика. А такі якісні ознаки продукції, особливо фіксованої геометричної форми, як ступень стиглості, наявність та глибина пошкоджень, не можливо визначити по зовнішньому стану продукту (наприклад, баштанні) без його руйнування. Це не дозволяє оперативно управляти технологічним процесом. Крім того, в існуючих методах і засобах контролю практично не знаходять відображення взаємозв'язок принципів організації технологічних операцій із станом продукту, тобто з його біофізичними параметрами.

Позитивне вирішення цієї задачі можливо лише при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів неруйнівного експресного контролю стану продукції. Як було відмічено раніше, одним із раціональних методів, які забезпечують експресний неруйнівний контроль вище названих якісних ознак біологічних структур фіксованої геометричної форми є метод акустичного зондування [1,2,3].

Все це потребує проведення не тільки теоретичних, але і експериментальних досліджень та встановлення, на їх підставі, взаємозв'язку між параметрами акустичного поля та якісними ознаками біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми, які в свою чергу, залежать від фізико-механічних властивостей їх структури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням, які пов'язані із застосуванням акустичних методів контролю, визначенням взаємозв'язків якісних і кількісних ознак сільськогосподарських продуктів з параметрами акустичного поля присвячено багато робіт [1,2,3,4]. Але, аналіз результатів цих досліджень свідчить проте, що незважаючи на велику їх кількість, більшість з них присвячені різним видам біологічних об'єктів, а тому не мають систематизованих проробок, які б дозволяли з єдиних позицій підійти до питань проектування електроакустичних систем неруйнівного експресного контролю якості сільськогосподарської продукції, прогнозувати отримання визначеного технічного або економічного ефекту. Крім того, нові, більш сучасні методи потребують нових технічних рішень та проведення відповідних експериментальних досліджень по встановленню взаємозв'язків між параметрів акустичного поля та

якісними ознаками продуктів, що безпосередньо пов'язані з їх фізико-механічними властивостями.

Викладене вище потребує більш глибокого дослідження зв'язку між фізико-механічними властивостями біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми, які тісно пов'язані з їх якісними ознаками, а саме ступенем стиглості і параметрами акустичного зондування, визначає мету та основні задачі досліджень.

Формулювання мети статті. Встановлення зв'язків між фізико-механічними властивостями біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми різного ступеню стиглості і параметрами післядії їх ударного збудження, визначенню інформативних критеріїв при оцінці якісного стану об'єктів та їх кількісної оцінки.

Основні матеріали досліджень. Вимоги технології виробництва того чи іншого виду продукції диктують необхідність розробки технічних засобів контролю якісних ознак та систем обробки продуктів, а саме електроакустичних систем, їх об'єм та область застосування [1]. З урахуванням того, що плод є складною біологічною системою з наперед невідомою кількістю ступенів вільності, отримати кінцеві залежності важко. Тому, найбільш доцільним методом дослідження процесу трансформації ударного імпульсу через об'єкт контролю є спектральний метод [2, 5,6].

Для встановлення ступеню зв'язку між характеристиками амплітудно-частотного спектру і фізико-механічними властивостями плодів при їх ударному збудженні було досліджено зв'язок між наступними параметрами:

ω_{ij} - і-ою частотою спектру коливань плодів j -ої фракції якості, c^{-1} ;

U_{ij} - амплітудою і-ої гармоніки спектру коливань j -ої фракції якості, В;

D_{ij} - і-им діаметром плоду j -ої фракції якості, м;

ρ_m, ρ_k - щільністю компонентів структури (м'якоті і кори, відповідно) плоду j -ої фракції якості, kg/m^3 ;

E_j - модулем пружності першого роду (модуль Юнга) кори плодів j -ої фракції, Па;

K_j - модулем об'ємної пружності м'якоті плодів j -ої фракції, Па, як всередині, так і між фракціями по якості.

При аналізі зв'язків між перерахованими параметрами було визначено парні коефіцієнти кореляції та кореляційні відношення, проведено оцінку їх достовірності по методиці, згідно [7,8]. Крім того, побудовані залежності частоти та амплітуди коливань від фізико-механічних параметрів плодів в залежності від ступені їх зрілості. Результати обробки експериментальних даних наведено на рисунках 1 і 2 та в таблицях 1 і 2.

Отримані результати (таблиці 1 і 2) свідчать, що найбільш висока кореляція спостерігається між частотою коливань і щільністю м'якоті плодів, а також між частотою і об'ємним модулем пружності наповнювача (м'якоті).

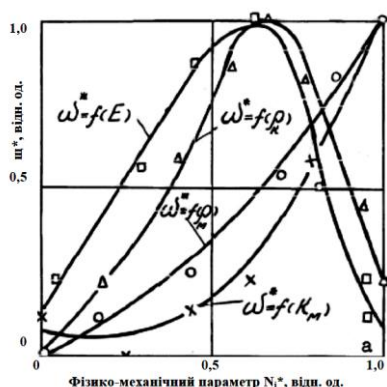
Таблиця 1 – Парні коефіцієнти кореляції між частотою коливань і фізико-механічними параметрами плодів в залежності від ступеня зрілості (сорт Астраханський, середній плід)

Позначення коефіцієнтів та їх для кількісні показники			
$\Gamma_{\omega\rho m}$	0,692	$\Gamma_{E\rho m}$	0,321
$\Gamma_{\omega\rho k}$	0,193	$\Gamma_{K\rho m}$	0,871
$\Gamma_{\omega E}$	- 0,026	$\Gamma_{E\rho k}$	- 0,890
$\Gamma_{\omega K}$	0,801	$\Gamma_{K\rho k}$	0,065
$\Gamma_{\omega U}$	0,342	Γ_{EK}	0,340
$\Gamma_{\rho m\rho k}$	0,064	-	-

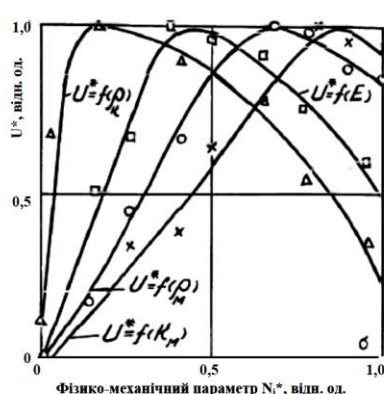
Таблиця 2 - Парні коефіцієнти кореляції між амплітудою коливань і фізико-механічними параметрами плодів в залежності від ступеня зрілості (сорт Астраханський, середній плід)

Позначення коефіцієнтів та їх для кількісні показники			
$\Gamma_{U\rho m}$	0,682	Γ_{UE}	0,477
$\Gamma_{U\rho k}$	- 0,218	Γ_{UK}	0,766

Крім того, кореляція між щільністю, пружністю кори і частотою низька і носить явно виражений нелінійний характер, а визначальним у формуванні основного тону частоти (першої моди), очевидно, є щільність і пружні властивості м'якоті ($\Gamma_{\omega\rho m} = 0,692$; $\Gamma_{\omega K} = 0,801$). Вплив щільності і пружності кори на вихідний сигнал післядії ударного збудження плодів має складну форму і характер зміни в залежності від якісного стану плодів.



а)



б)

Рисунок 1 - Залежність частоти (а) і амплітуди (б) коливань від фізико-механічних параметрів плодів: ρ_m , ρ_k - щільність м'якоті та кори, відповідно; K - модуль об'ємної пружності (для м'якоті); E - модуль пружності першого роду (для кори)

На рисунках 1 і 2 наведено залежності частоти і амплітуди коливань від фізико-механічних параметрів плодів (рис.1) та від ступеню зрілості (рис.2) при їх ударному збудженні. На рисунках 1 і 2: N_i^* - це значення параметрів ρ_m, ρ_k, E, K_m , у відносних одиницях, які приведені до довжини вісі названих параметрів:

$$N_i^* = \frac{N_i - N_{\min i}}{N_{\max i} - N_{\min i}} \times l_{\text{дл}}, \quad (1)$$

де $N_{\max i}$ і $N_{\min i}$ - відповідно, максимальне та мінімальне значення вище названих параметрів;

- довжина відповідної ділянки відносних одиниць.

Із рис.1а, видно, що на частоту вихідного сигналу будуть впливати, і досить істотно, всі фізико-механічні характеристики, а точніше співвідношення названих параметрів, тому що вплив кожного з них носить складний характер і що переважаючий вплив на частоту вихідного сигналу надають фізико-механічні характеристики наповнювача (м'якоті) плода, за рахунок більшої лінійності названих залежностей. Це підтверджує правильність запропонованої фізико-механічної моделі плоду [2].

Зміни амплітуди відповідних частотам власних коливань (рис.1б) від фізико-механічних компонентів структури плодів носить нелінійний характер і найбільшу нелінійність визначають щільність і пружність оболонки плодів. Нелінійність обумовлена, очевидно, самим фазовим перетворенням плодів в процесі вегетації з незрілих в перестиглі фракцію, де дві фракції незріла і перезріла, розділені двома фракціями (недостиглої і зрілої) мають близькі за параметрами фізико-механічні властивості.

Дослідження зв'язків між фізико-механічними параметрами (табл. 1 і 2) виявили наявність сильної кореляції між щільністю і об'ємним модулем пружності м'якоті (в залежності від зрілості) і щільністю і пружністю (модуль Юнга) кори (негативний зв'язок). Позитивна високий кореляційний зв'язок між щільністю і пружністю м'якоті плоду не дозволяє отримати істотності частотної відмінності (хоча б основного тону) між фракціями, тому що частота визначається величиною їх відносини. Зміна визначається лише різницею у відносній швидкості зміни цих двох параметрів. У змінах як частотного, так і амплітудного показника істотним виявляється і вплив негативного зв'язку між щільністю і модулем пружності кори.

Фізико-механічні параметри мають явно виражений нелінійний характер і тісно пов'язані зі зміною якісного стану плодів, отже, і вихідні параметри післядії ударного збудження плодів матимуть також нелінійний характер, що можна спостерігати на рис. 2.

Нелінійний характер залежності частоти і амплітуди від якісного стану плодів не дозволяє здійснити виділення зрілої фракції і поділ партії плодів на інші фракції по одному параметру: частоті або амплітуді.

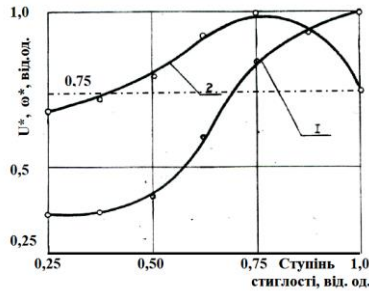


Рисунок 2 – Залежність амплітуди (1) і частоти (2) коливань плодів від ступеню зрілості при ударному збудженні

Можливим в даному випадку є виділення зрілої і недозрілої фракцій плодів по амплітуді на резонансній частоті зрілих плодів і подальше їх поділ між собою по резонансній частоті недозрілої фракції, яка має істотну відмінність від частот всіх інших фракцій, тобто представляється можливим провести поділ плодів на зрілу, недозрілу і незрілу плюс перезрілу фракції. З огляду на неістотності відмінностей між фізико-механічними, геометричними характеристиками і частотними і амплітудними параметрами післядії ударного збудження плодів поділ незрілої і перезрілої фракцій за названим критерієм не може бути реалізованим. Однак, можливість виділення стандартної фракції з партії плодів є вже достатнім для потреб практики, чим підтверджується прийнятність даного критерію.

Висновки

1. Вплив щільності і пружності кори на вихідний сигнал післядії ударного збудження плодів має складну форму і характер зміни в залежності від якісного стану плодів.

2. Визначальним у формуванні основного тону частоти (першої моди), очевидно, є щільність і пружні властивості м'якоті ($r_{\omega p m} = 0,692$; $r_{\omega k} = 0,801$).

3. Між амплітудою, частотою та діаметром плодів існує тісний кореляційний зв'язок: $r_{u d} = - 0,916 \text{ c}^{-1}$, $r_{\omega d} = - 0,901 \text{ c}^{-1}$. Тому при реалізації любого із запропонованих інформативних ознак для оцінки якості плодів, необхідно обов'язково враховувати їх розмірні характеристики.

4. З огляду на неістотності відмінностей між фізико-механічними, геометричними характеристиками і частотними і амплітудними параметрами післядії ударного збудження

плодів поділ незрілої і перезрілої фракції за названим критерієм не може бути реалізованим. Однак, можливість виділення стандартної фракції з партії плодів є вже достатнім для потреб практики, чим підтверджується прийнятність даного критерію.

5. Встановлено тісний кореляційний зв'язок між інформативними параметрами, фізико-механічними властивостями компонентів структури плодів і якісним станом об'єкта контролю. Нелінійність зв'язків знаходиться в межах 4,98 ... 37,2% і до 96,8% (між щільністю кори і зрілістю плодів) в залежності від відношення фізико-механічних параметрів кори і м'якоті, що в свою чергу призводить до нелінійних вихідних параметрів процесу трансформації ударного імпульсу через плід. У цьому знаходить своє підтвердження запропонована фізико-математична модель об'єкту.

Список використаних джерел

1. Іноземцев Г.Б., Яковлев В.Ф., Козирський В.В. Застосування акустичних технологій в агарному виробництві: Навчальний посібник -К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013. - 171 с.: іл..

2. Яковлев В.Ф. Визначення якісних ознак біологічних структур фіксованої геометричної форми імпульсним методом / В.Ф. Яковлев // Вісник СНАУ Науковий журнал. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». Вип.5 (33), 2018 – с.66 – 73

3. The acoustic control of fruit damage V.F. Jakovlev, I.P. Nazarenko, M.V. Yakovleva, A.N. Terekhov (Tavrijskaja Derčavna Agrotehnična Arademija w. Melitopolu (Ukraina). Sistemy mikropro-cesorowe wrolnictwte . 2nd conference on mickoprocessor systems in acgriculture. Conference materials. 18...19 September 1997, Plock, Poland. с.113-117.

4. А.с. № 1291866 (СССР) МКИ⁴ G01N29/00 Б. И. №7, 1987 Яковлев В.Ф.,Бородин И.Ф. Максимочкин Г.И. Способ определения зрелости и поврежденности плодов.

5. Мэнли Р. Анализ и обработка записей колебаний,- М.: Машиностроение, 1972. - 368с.

6. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля.- М.: Машиностроение, 1981. - 240с.

7. Технологія наукових досліджень енергетичних систем в агарному виробництві: Навчальний посібник. / Г.Б. Іноземцев, В.В.Козирський. За редакцією Г.Б. Іноземцева. – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 198 с.

8. Лакин Г.Ф. Биометрия.- М.: Высш.школа, 1980. - 293с.

В.Ф. Яковлев, проф.

Анотація

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ
ТА ПАРАМЕТРАМИ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ ВІЛЬНИХ
КОЛИВАНЬ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ФІКСОВАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ**

Якість продукції, що йде як на реалізацію населенню, так і в якості початкової сировини для технологічної переробки, є одним з найважливіших показників рівня розвитку сільськогосподарського виробництва. Такі якісні ознаки продукції, особливо фіксованої геометричної форми, як ступень стиглості, наявність та глибина розташування пошкоджень, не завжди можливо визначити по зовнішньому стану продукту (наприклад, баштанні) без його руйнування. Це не дозволяє оперативно управляти технологічним процесом. Крім того, в існуючих методах і засобах контролю практично не знаходить відображення взаємозв'язок принципів організації технологічних операцій із станом продукту, тобто з його біофізичними параметрами.

Позитивне вирішення цієї задачі можливо лише при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів неруйнівного експресного контролю якісного стану продукції, а саме, їх ступені стиглості. Одним із таких методів є метод акустичного зондування, який полягає в тому, що параметри післядії ударного збудження біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми тісно пов'язані з їх фізико-біохімічними характеристиками, які в свою чергу, змінюються в процесі зміни їх ступеню стиглості.

Викладений матеріал представляє результати експериментальних досліджень по встановленню зв'язків між фізико-механічними властивостями біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми різного ступеня зрілості і параметрами післядії їх ударного збудження, визначенню інформативних критеріїв при оцінці якісного стану об'єктів та їх кількісних значень.

Ключові слова: амплітудно-частотний спектр коливань, параметри акустичного поля, акустичне зондування, ударне збудження, коефіцієнт поглинання, частота, мода коливань, асиметрія, ексцес.

В.Ф. Яковлев, проф.

Рясна О.В.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ
СВОЙСТВАМИ И ПАРАМЕТРАМИ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА
СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
ФИКСИРОВАННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

Качество продукции, которая идет как на реализацию населению, так и в качестве исходного сырья для технологической переработки, является одним из важнейших показателей уровня развития сельскохозяйственного производства. Такие качественные признаки продукции, особенно фиксированной геометрической формы, как степень зрелости, наличие и глубина расположения повреждений, не всегда возможно определить по внешнему состоянию продукта (например, бахчевые) без его разрушения. Это не позволяет оперативно управлять технологическим процессом. Кроме того, в существующих методах и средствах контроля практически не находит отражения взаимосвязь принципов организации технологических операций с состоянием продукта, то есть с его биофизическими параметрами.

Позитивное решение этой задачи возможно лишь при широком внедрении современных методов и технических средств неразрушающего экспрессного контроля качественного состояния продукции, а именно, их степени зрелости. Одним из таких методов есть метод акустического зондирования, который заключается в том, что параметры последствия ударного возбуждения биологических объектов фиксированной геометрической формы тесно связаны с их физико-биохимическими характеристиками, которые в свою очередь, изменяются в процессе степени зрелости.

Изложенный материал представляет результаты экспериментальных исследований по установлению связей между физико-механическими свойствами биологических объектов фиксированной геометрической формы разной степени зрелости и параметрами последствия их ударного возбуждения, определению информативных критериев при оценке качественного состояния объектов и их количественных значений.

Ключевые слова: амплитудно-частотный спектр колебаний, параметры акустического поля, акустическое зондирование, ударное возбуждение, коэффициент поглощения, частота, мода колебаний, асимметрия, эксцесс.

Abstract

RESEARCH OF RELATIONS BETWEEN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND PARAMETERS OF THE AMPLITUDE-FREQUENCY SPECTRUM OF FREE OSCILLATIONS OF BIOLOGICAL OBJECTS OF FIXED GEOMETRIC SHAPE

Yakovlev V., prof.

Ryasna O.

Sumy National Agrarian University

The quality of products that are sold to the population and as raw materials for technological processing is one of the most important indicators of the level of development of agricultural production. Such qualitative characteristics of products, particularly a fixed geometric shape, the degree of ripeness, presence and depth of the damage, it is not always possible to determine the external condition of the product (e.g., melons) without its destruction. This does not allow you to quickly manage the process. In addition, the existing methods and controls practically do not reflect the relationship of the principles of the organization of technological operations with the state of the product, that is, with its biophysical parameters.

A positive solution to this problem is possible only with a wide introduction of modern methods and technical means of non-destructive Express control of the quality of products, namely, their degree of maturity. One of these methods is the method of acoustic sounding, which consists in the fact that the parameters of the aftereffect of shock excitation of biological objects of fixed geometric shape are closely related to their physical and biochemical characteristics, which in turn change in the process of changing their degree of maturity.

The presented material presents the results of experimental studies to establish links between the physical and mechanical properties of biological objects of fixed geometric shape of different degrees of maturity and the parameters of the aftereffect of their shock excitation, to determine informative criteria for assessing the quality of objects and their quantitative values.

Keywords: amplitude-frequency spectrum of oscillations, acoustic field parameters, acoustic sounding, shock excitation, absorption coefficient, frequency, vibration mode, asymmetry, excesses.

