

На підставі проведеного теоретичного аналізу обґрунтовано можливість застосування методу аналогового моделювання при визначенні якісних ознак біологічних об'єктів рослинного походження фіксованої геометричної форми

**Постановка проблеми.** У сільському господарстві одним із важливих питань є збільшення виробництва та значне покращення якості продукції, що потребує розробки технічних засобів не руйнуючих продукцію. Так як не можливо визначити по зовнішньому вигляду якісні ознаки плоду без його повної втрати.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На сьогоднішній день існує багато робіт, які направлені на покращення аналізу якості продукції сільськогосподарського виробництва. Основним питанням постає аналіз плодів фіксованої геометричної форми, тому що їх якість не можна оцінити на зовнішній вигляд без їх безповоротної втрати в якості товару. Наведені 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 [1, 6]. Викладене вище визначає мету та основні задачі досліджень і дозволяє формулювати основні принципи побудови технічних засобів неруйнівного експресного контролю.

**Мета статті.** Робота направлена на теоретичне обґрунтування можливості застосування методу аналогового моделювання при визначенні якості біологічних об'єктів рослинного походження фіксованої геометричної форми, встановлення відповідних закономірностей, що визначають передумови проведення експериментальних досліджень і технічної реалізації методу.

**Основні матеріали досліджень.** Одержання інформативних значень неруйнуючого контролю якісних ознак стиглості (наприклад баштанних) вимагає проведення експериментальних досліджень. Однак можливість проведення їх на реальному об'єкті обмежена в часі (1...1,5 міс. у році). В роботі була розглянута передаточна функція запропонованої моделі різної якості при дії ударного імпульсу. Прийняті до розгляду плоди баштанних були змодельовані у вигляді сфери, яка заповнена стисливою рідиною з визначеною щільністю  $\rho_m$  і об'ємним модулем пружності  $K_m$ , що залежить від якісних ознак продукту. Характерна форма ударного імпульсу й сигналу післядії імпульсного порушення представлено на рисунку 1.

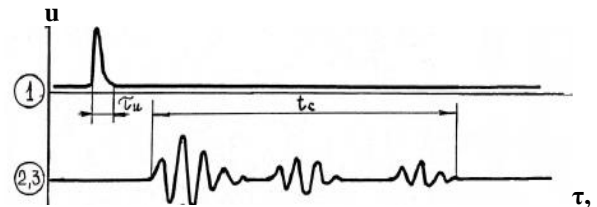


Рисунок 1 - Ударний імпульс (1) і сигнал наслідку ударного порушення плоду (2).

Апроксимуючий вираз імпульсу ударного порушення об'єкта контролю після відповідних перетворень приводиться до виду [2, 3]:

$$x_j(t) = K_{jo}^1 e^{-b_{jo}^* t} (1 - \cos \omega_{jo} t) \quad (1)$$

де  $x_j(t)$  - вхідний вплив для плодів  $j$ -тої фракції по зрілості;  $K_{jo}$  - параметр, що характеризує постійну складову ударного імпульсу для  $j$ -тої фракції плодів;  $b_{jo}$  - безрозмірний параметр, що характеризує швидкість загасання ударного імпульсу;  $\omega_{jo}$  - частотний безрозмірний параметр ударного імпульсу;  $t$  - поточна координата часу, с.

$$K_{jo}^1 = \frac{Q_{j \max}}{1 - \cos \frac{2\tau_{j\varphi}}{\tau_{ju}}} \exp\left(-\frac{2\pi\tau_{j\varphi}}{\tau_{ju} \operatorname{tg} \frac{\pi\tau_{j\varphi}}{\tau_{ju}}}\right) \quad (2)$$

$$\frac{K_{jo}^{2\pi}}{\tau_{jn}}; \delta_{jo}^* = \frac{\omega_{jo}}{\operatorname{tg} \frac{\pi\tau_{j\varphi}}{\tau_{ju}}}$$

де  $Q_{j \max}$  - максимальне значення амплітуди ударного імпульсу для  $j$ -тої фракції по зрілості;

$\tau_{j\varphi}$  - тривалість фронту ударного імпульсу, (с);

$\tau_{ju}$  - тривалість імпульсу, с.

Після застосування перетворення Лапласа [3,4] і введення позначень

$$K_{jo} = K_{jo}^1 \omega_{jo}^2, T_{jx1} = \frac{1}{\delta_{ju}^*}, T_{jx2} = \frac{1}{\omega_{jo}} \quad (3)$$

апроксимуючий вираз ударного імпульсу буде мати вигляд:

$$X_j(P) = \frac{K_{jo}}{P} * \frac{1}{T_{jx1}P + 1} * \frac{1}{T_{jx2}^2 P^2 + 1} \quad (4)$$

де  $T_{jx1}, T_{jx2}$  - постійні часу, що характеризують параметри ударного імпульсу для j-тої фракції, с.

Для спрощення й забезпечення можливості технічної реалізації вихідний сигнал апроксимувався виразом, що представляє собою ряд Фур'є, членами якого обрані частоти, що відповідають характерним резонансним пікам у спектрі для тієї або іншої фракції по стиглості. Коефіцієнт загасання й сукупність резонансних частот ( від 3-тього - нестигли й перестиглі до 1-шого - стилі плоди) ухвали вся рівним середнім значенням, отриманим при обробці експериментальних даних. Апроксимація проводилася припасуванням амплітуд і початкових фаз складових коливань. У деяких випадках, у межах максимальної похибки експериментальних досвідів, змінювався коефіцієнт загасання й частоти. Апроксимуючий вираз вихідного сигналу має вигляд:

$$Y_j(t) = \sum_{i=1}^l Q_{j \max i} \sin[\omega_{ji}(t_k - \tau_j) + \varphi_{ji}] * e^{-\delta_{ji}(t_k - \tau_j)} \quad (5)$$

де  $Y_j(t)$  - вихідний сигнал об'єкта контролю j-тої фракції по зрілості;  $Q_{j \max i}$  - максимальна амплітуда i-тої складової спектра вихідного сигналу j-тої фракції;  $\omega_{ji}, \varphi_{ji}$  - частота й початкова фаза i-тої фракції по зрілості;  $\delta_{ji}$  - коефіцієнт загасання вихідного сигналу;  $\tau_j$  - час запізнювання вихідного сигналу щодо вхідного впливу для j-тої фракції, з;  $t_k$  - поточна координата часу, с.

Наближення функції здійснювалося ітераційними методами [5]. Тому що задана функція є багато параметричною ( від 3 до 9 параметрів), наближення здійснювалося варіацією одного з параметрів при фіксації обраного початкового наближення інших параметрів до одержання мінімуму помилки. Далі фіксацією даного параметра в цім положенні й інших, крім одного, на рівні початкового наближення, варіювався інший параметр. Процес ітерації проводився до одержання мінімуму середньозваженої квадратичної помилки по всіх параметрах, а отже, і мінімуму відхилення апроксимуючої функції від реальної. В операторній формі вираз (5) має вигляд:

$$Y_j(P) = \sum_{i=1}^k \left( \frac{K_{ji}^1}{T_{ji}^2 P^2 + 2\delta_{j2i} T_{ji} P + 1} + \frac{K_{j2i}(T_{j2i} P + 1)}{T_{ji}^2 P^2 + 2\delta_{j2i} T_{ji} P + 1} \right) e^{-p\tau_j} \quad (6)$$

де  $K_{jli} K_{j2i}$  - коефіцієнти підсилення;  $T_{jli} T_{j2i}$  - постійні часу відповідної ланки i-тої складової для j-тої фракції по зрілості;  $\delta_{j2i}$  - параметр характеризує властивості, що демпфірують, об'єкта контролю для i-тої складової спектра сигналу j-тої фракції по зрілості.

$$\begin{aligned} K_{jli}^1 &= K_{jli} \omega_{ji} \\ T_{jli} &= \frac{1}{\sqrt{\delta_{j1}^2 + \omega_{ji}^2}} \\ K \frac{1}{\delta_{j1}}; \delta_{j2i} &= \frac{\delta_{j1}}{\sqrt{\delta_{j1}^2 + \omega_{j1}^2}} \end{aligned} \quad (7)$$

З використанням (4) і (6) передатна функція об'єкта контролю в загальному виді запишеться як:

$$W_j(P) = K_{jo}^1 W * (T_{jx2}^2 P^2 + T) \sum_{i=1}^k \left( \frac{K_{jli}^1}{T_{jli}^2 P^2 + 2\delta_{j2i} T_{jli} P + 1} + \frac{K_{j2i}(T_{j2i} P + 1)}{T_{jli}^2 P^2 + 2\delta_{j2i} T_{jli} P + 1} \right) e^{-p\tau_j} \quad (8)$$

де  $W_j(P)$  - передатна функція об'єкта контролю j-тої фракції;  $K_{jo}^1$  - коефіцієнт підсилення вхідного сигналу:

$$K_{jo}^1 = \frac{1}{K_{ji}^1}$$

Аналіз (8) показує, що передатні функції плодів різних фракцій по зрілості мають однакові вираження імпульсу збудливої сили й відрізняються кількістю динамічних ланок, що знаходяться під знаком суми, обумовленим шириною частотного спектра вихідного сигналу, а також значеннями коефіцієнтів і постійних часу, що входять у дане вираження. Нижче наведені розгорнуті вираження передатних функцій для плодів різних фракцій по стиглості:

- нестигли плоди:

$$\begin{aligned} W_H(P) &= K_{HO}^1 W (T_{HX2}^2 P^2 + 1) \left( \frac{K_{H11}^1}{T_{H11}^2 P^2 + 2\delta_{H21} T_{H11} P + 1} + \right. \\ &+ \frac{T(T_{H21} P + 1)}{T_{H11}^2 P^2 + 2\delta_{H21} T_{H11} P + 1} + \frac{K_{H12}^1}{T_{H12}^2 P^2 + 2\delta_{H22} T_{H12} P + 1} + \\ &+ \frac{K_{H22}(T_{H22} P + 1)}{T_{H12}^2 P^2 + 2\delta_{H22} T_{H12} P + 1} + \frac{T}{T_{H13}^2 P^2 + 2\delta_{H23} T_{H13} P + 1} + \\ &\left. + \frac{K_{H23}(T_{H23} P + 1)}{T_{H13}^2 P^2 + 2\delta_{H23} T_{H13} P + 1} \right) e^{-p\tau_H} \end{aligned} \quad (9)$$

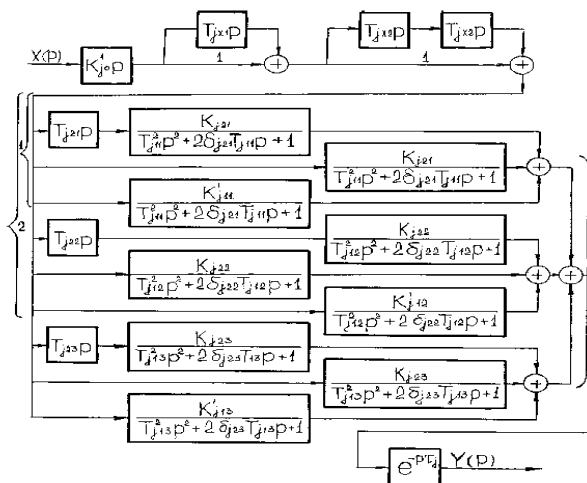


Рисунок 2 - Структурна схема плода різної стиглості: 1 – стиглий плід; 2 – недостиглий; 3 – нестиглий і перестиглий

- недостиглі:

$$W_p(P) = K_{po}^1 W(T_{px2}^2 P^2 + 1) \left( \frac{K_{p11}^1}{T_{p11}^2 P^2 + 2\delta_{p21} T_{p11} P + 1} + \frac{K_{p21}(T_{p11} P + 1)}{T_{p11}^2 P^2 + 2\delta_{p21} T_{p11} P + 1} + \frac{K_{p12}^1}{T_{p12}^2 P^2 + 2\delta_{p21} T_{p11} P + 1} + \frac{K_{p22}(T_{p22} P + 1)}{T_{p22}^2 P^2 + 2\delta_{p22} T_{p22} P + 1} \right) e^{-p\tau_p} \quad (10)$$

- стиглі:

$$W_3(P) = K_{3o}^1 W(T_{3x2}^2 P^2 + 1) \left( \frac{K_{311}^1}{T_{311}^2 P^2 + 2\delta_{321} T_{311} P + 1} + \frac{T(T_{321} P + 1)}{T_{311}^2 P^2 + 2\delta_{321} T_{311} P + 1} \right) e^{-p\tau_3} \quad (11)$$

-перестиглі плоди:

$$W_n(P) = K_{no}^1 W(T_{nx2}^2 P^2 + 1) \left( \frac{K_{n11}^1}{T_{n11}^2 P^2 + 2\delta_{n21} T_{n11} P + 1} + \frac{T(T_{n21} P + 1)}{T_{n11}^2 P^2 + 2\delta_{n21} T_{n11} P + 1} + \frac{K_{n12}^1}{T_{n12}^2 P^2 + 2\delta_{n22} T_{n12} P + 1} + \frac{K_{n22}(T_{n22} P + 1)}{T_{n22}^2 P^2 + 2\delta_{n22} T_{n22} P + 1} + \frac{T}{T_{n13}^2 P^2 + 2\delta_{n23} T_{n13} P + 1} + \frac{K_{n23}(T_{n23} P + 1)}{T_{n13}^2 P^2 + 2\delta_{n23} T_{n13} P + 1} \right) e^{-p\tau_n} \quad (12)$$

На підставі передатної функції розроблена структурна схема плода (рисунок 2). Отримані результати дозволяють перейти до розробки електронно аналогового імітатора плоду. А це, у свою чергу, забезпечить можливість (апріорі) досліджувати вплив вхідних сигналів будь-якої форми на об'єкт контролю, виявити можливі інформативні параметри вихідного сигналу цих впливів, що несуть інформацію про якісний стан плодів, а також підготувати теоретичну базу експериментальних досліджень.

**Висновки.** Наведена фізико-математична модель обумовлює можливість застосування методу аналогового моделювання стиглості біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми, що з визначеною похибкою може відображати якість реального продукту у

визначений час і служити передумовою проведення експериментальних досліджень та відповідних розрахунків при проектуванні технічних засобів експресного контролю якісних ознак сільськогосподарської продукції.

### Список використаних джерел

- 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.
- Пеллинець В.С. Измерение ударных ускорений. М.: Изд-во стандартов, 175,287 с.
- Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1972, 767 с.
- Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа. М.: Физматгир. 1960. 208 с.
- Попов Б.А., Теслер Г.С. Приближение функций для технических приложений. Киев.: Наукова думка. 180. 350 с.
- Kontrola jakosci owocow V.F. Jakovlev, A.N. Terechov (Tavrijskaja Derčavna Agrotehnična Arademiya w. Melitopolu (Ukraina). Ekologiczne aspekty, mechaniracjii nawożenia ochrony roślin i uprawy gleby: 111 Miedzynarodowe sympozjum /Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa Warszawa, 25 wrzesnia 1996 c.231-235.

### Анотация

#### МЕТОД АНАЛОГОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ФИКСИРОВАННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Приходько М.С.

Сумской национальный аграрный университет

На основании проведенного теоретического анализа была обоснована возможность использования метода аналогового моделирования при определении качественных свойств биологических объектов растительного происхождения фиксированной геометрической формы

### Abstract

#### THE ANALOG MODELING METHOD OF A BIOLOGICAL OBJECT WITH FIXED GEOMETRICAL SHAPES

M. Prykhodko

Sumy National Agrarian University

Based on conducted theoretical analysis, was substantiated the ability to use analog modeling method for determining quality characteristics of plant origin biological objects with fixed geometrical shapes