

УДК 631.17:534.6

DOI: 10.31388/2078-0877-2020-20-4-106-114

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОДІЛЬНО-МНОЖУВАЛЬНОГО БЛОКУ ПРИСТРОЮ ОЦІНКИ ЯКОСТІ БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ФІКСОВАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

Яковлев В. Ф., проф

ORCID: 0000-0001-5261-4432

Сумський національний аграрний університет

e-mail: vfyakov@gmail.com

Постановка проблеми. Висока якість продукції сільського господарства, що йде на реалізацію населенню, може бути досягнена тільки при забезпеченні технологічних процесів (виробництва, переробки, зберігання) технічними засобами контролю якісних ознак початкової сировини, контролем якості продукції на проміжних і кінцевих операціях.

Показники якості продукції, які встановлюються стандартами, передбачають у своїй більшості, або органолептичні методи оцінки, або хімічні методи аналізу, що вимагають певних навичок від особи, яка виконує контроль і великих витрат часу на їх проведення. Особливо важко визначати якісні ознаки продукту в технологічному потоці, що призведе до суттєвого зниження продуктивності та збільшення собівартості кінцевого продукту.

Тільки при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів неруйнівного експресного контролю якісних ознак продукції можливо позитивне вирішення цієї задачі.

Тому наукові дослідження, які направлені на створення технічних систем, що забезпечують експресний неруйнівний контроль якісних ознак вище названих біологічних структур в технологічному процесі є актуальними.

Із порівняння переваг та недоліків різних фізичних методів контролю, які можуть бути реалізовані у технічному засобі, найбільш перспективним є метод акустичного зондування, який дозволяє оцінювати якісні ознаки продукту, що тісно пов'язані з його анатомічною структурою і фізико-біохімічними характеристиками, по параметрам акустичного поля [1,4,6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Суттєвий внесок у дослідження, які пов'язані із застосуванням акустичних методів контролю, досліджень по вивченню взаємозв'язків якісних і кількісних ознак біологічних об'єктів з параметрами акустичного

поля, зробили цілий ряд вчених. Але, аналіз результатів цих досліджень свідчить 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 [1,4,6]. Крім того, нові, більш сучасні методи потребують нових технічних рішень та проведення відповідних експериментальних досліджень, як по технічним засобам, так і окремим складовим (окремим блокам) цих пристроїв, з метою підвищення точності і ефективності їх роботи. Одним із таких складових блоків електронно-акустичного пристрою (ЕАП) неруйнівного контролю якості біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми є подільно-множувальний блок, який повинний забезпечувати необхідну швидкість виконання закладених функцій, їх точність і достовірність.

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

Формулювання цілей статті. Теоретичне та експериментальне обґрунтування параметрів схеми та вихідних характеристик подільно-множувального блоку, які забезпечують відповідні умови проектування і технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якісних ознак біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми.

Основна частина. Проведені раніше дослідження [1,4,6] дозволили отримати відповідні залежності вихідного сигналу біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми різного ступеню стиглості при їх ударному збудженні, а також сформулювати основні принципи побудови блоків технічних засобів неруйнівного експресного контролю. Задача полягає у розробці блоку технічного засобу, який може виконувати необхідні функції обробки вхідних сигналів по заданому алгоритму з необхідною точністю. Цю функцію у пристрої контролю якісних ознак біологічних об'єктів виконує подільно-множувальний блок, схему якого наведено на рисунку 1.

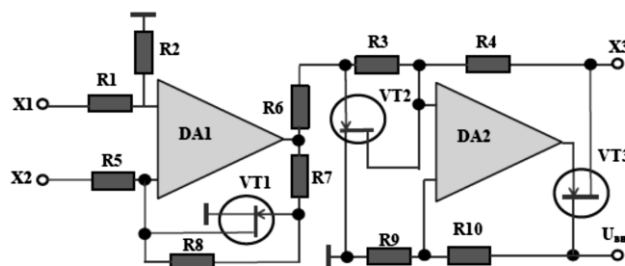


Рис. 1. Схема подільно-множувального блоку

Схема складається із операційних підсилювачів DA1 та DA2, польових транзисторів VT1... VT3, резисторів R1... R10. Диференційний підсилювач DA1 сумісно з резисторами R1, R2, R5 представляє схему перетворення напруги U2 (вхід X2) у провідність Y1 польового транзистора VT1 [3,5]:

$$Y1 = \frac{U2(R1+R2)}{U1 \cdot R2 \cdot R5} - \frac{1}{R5} \quad (1)$$

де U1 - напруга на вході X1), B.

Вихідна напруга з DA1 управляє польовими транзисторами VT1 і VT2. Якщо, напруги відсічки транзисторів рівні, тоді провідність VT2 буде визначатися за формулою [3]:

$$Y2 = K1 \left[\frac{U2(R1+R2)}{U1 \cdot R2 \cdot R5} - \frac{1}{R5} \right], \quad (2)$$

де K1 - коефіцієнт пропорційності.

Диференційний підсилювач DA2 керує транзистором VT3, який сумісно з резисторами R4, R9, R10 представляє коло, що управляється опором польового транзистора VT3. Коло із опору VT3 (R_{VT3}) та R9, R10 представляє собою сумарний резистивний опір R_{Σ} . R_{VT3} можна визначити із рівняння:

$$\frac{U3 \cdot R8}{R_{VT3} + R9 + R10} = \frac{U3}{(R4 + \frac{1}{Y2}) \cdot Y2}. \quad (3)$$

Із (3), після відповідних перетворень, отримаємо:

$$R_{VT3} = Y2 \cdot R4 \cdot R9 - R10. \quad (4)$$

Сумарний резистивний опір можна представити у вигляді:

$$R_{\Sigma} = Y2 \cdot R4 \cdot R9 + R9. \quad (5)$$

Після підстановки (2) в (5), отримаємо:

$$R_{\Sigma} = \frac{U2}{U1} \frac{R9(R1+R2)K1 \cdot R4}{R2 \cdot R5} - \frac{K1 \cdot R4 \cdot R9}{R5} + R9. \quad (6)$$

При виконанні умови: $R5 = K1 \cdot R4$ вираз (6) можна представити у вигляді:

$$R_{\Sigma} = \frac{U_2}{U_1} \frac{R_9(R_1 + R_2)}{R_2}. \quad (7)$$

Із (7) слідує, що R_{Σ} дозволяє здійснювати лінійне регулювання опором входу X2 та провідністю входу X1. Так, як в якості вихідного сигналу взята напруга $U_{\text{вих}} = I(R_{VT3} + R_9)$ тому, в даному випадку, наведений блок в цілому виконує функцію подільного- множувально пристрою, тобто:

$$U_{\text{вих}} = K \frac{U_1 \cdot U_3}{U_2}, \quad (8)$$

де K - коефіцієнт пропорційності:

$$K = \frac{R_2(R_9 + R_{10})}{R_9(R_1 + R_2)}. \quad (9)$$

Наведену теоретичну модель (8) складено із рядом допущень, тому виникає необхідність перевірки її точності експериментальними методами у всьому діапазоні зміни вхідних сигналів, пропорційних $U_1 \dots U_3$ ($U_1 = 5 \dots 10$ В; $U_2 = 1 \dots 5$ В; $U_3 = 1 \dots 10$ В).

Для лінеаризації моделі до розгляду прийнята не вихідна залежність (8), а її логарифм. Було проведено повний факторний експеримент, в якому у якості відгуку прийнято $\ln y$ ($\ln U_{\text{вих}}$), а у якості факторів $\ln X_1$ ($\ln U_1$); $\ln X_2$ ($\ln U_2$); $\ln X_3$ ($\ln U_3$). Тоді вираз (8) буде мати вигляд:

$$\ln y = \ln K + \ln X_1 - \ln X_2 + \ln X_3. \quad (10)$$

Умови експерименту згідно [2], тобто інтервали варіювання, основний та граничні рівні наведено у таблиці 1. Кодування факторів x_i проводилося за формулами:

$$x_{i0} = \frac{\ln X_{iB} + \ln X_{iH}}{2}, \quad (11)$$

$$x_i = \frac{\ln X_i - \ln X_{i0}}{\Delta X}, \quad (12)$$

$$\Delta X = \frac{\ln X_{iB} - \ln X_{iH}}{2}, \quad (13)$$

де X_i - і-ий рівень і-ого фактору; X_{i0} - основний рівень і-ого фактору; ΔX - інтервал варіювання і-ого фактору.

Таблиця 1 - Умови експерименту

| Рівень | Фактори | | |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | $\ln X_1$ | $\ln X_2$ | $\ln X_3$ |
| Основний рівень, X_{i0} | 1,9561 | 0,8048 | 1,1512 |
| Нижній рівень, X_{iH} | 1,6095 | 0 | 0 |
| Верхній рівень, X_{iB} | 2,3026 | 1,6095 | 2,3026 |
| Інтервал варіювання, ΔX | 0,3465 | 0,8048 | 1,1512 |
| Кодоване позначення факторів, x_i | x_1 | x_2 | x_3 |

Для проведення повного факторного експерименту (ПФЕ 2^3) вихідне рівняння регресії має наступний вигляд:

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (14)$$

Матриця плану експерименту та середнє значення відгуків наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 - Матриця та результати плану ПФЕ 2^3

| Номер досліджу | x_1 | x_2 | x_3 | y_{u1} | y_{u2} | \bar{y}_u | $\ln \bar{y}_u$ |
|----------------|-------|-------|-------|----------|----------|-------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | - | - | - | 0,0390 | 0,0400 | 0,0395 | -3,4201 |
| 2 | + | - | - | 0,1025 | 0,1031 | 0,1028 | -2,2053 |
| 3 | - | + | - | 0,0120 | 0,0120 | 0,0120 | -4,6560 |
| 4 | + | + | - | 0,0230 | 0,0230 | 0,0230 | -3,7010 |
| 5 | - | - | + | 0,4100 | 0,4100 | 0,4100 | -0,9100 |
| 6 | + | - | + | 0,9802 | 0,9804 | 0,9803 | -0,0098 |
| 7 | - | + | + | 0,1020 | 0,1020 | 0,1020 | -2,2543 |
| 8 | + | + | + | 0,2650 | 0,2654 | 0,2652 | -1,3049 |

Розрахунки виконувалися за відомими наступними формулами:

1) середнє значення:

$$\bar{y}_u = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{uj}; \quad (15)$$

2) дисперсія:

$$s_u^2 = \frac{1}{n-1} (\sum_{j=1}^n y_{uj}^2 - n\overline{y_u^2}); \quad (16)$$

3) однорідність строкових дисперсій (критерій Кохрена):

$$G_p = \frac{s_u^2 \max}{\sum_{u=1}^N s_u^2}; \quad (17)$$

4) дисперсія відтворюваності:

$$s_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N s_u^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N (\sum_{j=1}^n y_{uj}^2 - n\overline{y_u^2}); \quad (18)$$

5) коефіцієнти рівняння регресії:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} \overline{y_u} = \frac{1}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} \sum_{u=1}^N x_{iu} \overline{y_u}; \quad (19)$$

5) середньо квадратичне відхилення для і-ого коефіцієнту регресії:

$$s_{bi} = \frac{s_y}{\sqrt{nnN}}; \quad (20)$$

6) критичне значення b-коефіцієнтів:

$$b_{кри} = s_{bi} t_{табл}; \quad (21)$$

7) дисперсія адекватності:

$$s_{ад} = \frac{1}{N-1} n \sum_{u=1}^N (\overline{y_u} - y_u)^2, \quad (22)$$

де $\overline{y_u}$ - построкові середні; y_{uj} - значення відгуку і-ого дослід; $s_{u \max}^2$ - максимальне значення із построкових дисперсій; N - кількість дослідів; n - кількість повторів дослідів; x_{iu} - значення фактору в і-ому досліді; s_y - помилка дослід; s_u^2 - построкова дисперсія і-ого дослід; $t_{табл}$ - табличне значення розподілу Стьюдента.

Виключивши статистично незначущі коефіцієнти із рівняння регресії (14) отримуємо кінцеве рівняння:

$$y = -2,489 + 0,597x_1 - 0,856x_2 + 1,201x_3. \quad (23)$$

Після переходу від кодованих змінних і відповідних перетворень отримуємо рівняння у фізичних змінних:

$$\ln y = -3,88 + 0,97 \ln X_1 - 0,96 \ln X_2 + 0,99 \ln X_3 . \quad (24)$$

Висновки. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження свідчать про те, що отримані емпіричні та теоретичні математичні моделі запропонованого подільно - множувального блоку можуть бути використані для кількісної оцінки впливу відхилення параметрів блоку на його вихідні характеристики з достатньою ступеню точності та для оптимізації блоку по любому із вихідних параметрів.

Список використаних джерел :

1. Іноземцев Г. Б., Яковлев В. Ф., Козирський В. В. Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві: навчальний посібник. Київ: Аграр Медіа Груп, 2013. 171 с.
2. Іноземцев Г. Б., Козирський В. В. Технологія наукових досліджень енергетичних систем в аграрному виробництві: навчальний посібник. Київ: Аграр Медіа Груп, 2011. 198 с.
3. Квітка С. О., Яковлев В. Ф., Нікітіна О. В. Електроніка та мікросхемо техніка: навчальний посібник. Суми: СНАУ, 2012. 285 с.
4. Яковлев В. Ф. Визначення якості сільськогосподарської продукції методом акустичної емісії. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки.* Харків, 2015. Вип. 164: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 75-77.
5. Аксенов А. И., Нефедов А. В. Отечественные полупроводниковые приборы. Москва: СОЛОН-Пресс, 2005. 584 с.
6. The acoustic control of fruit damage / V. F. Jakovlev, I. P. Nazarenko, M. V. Yakovleva, A. N. Terekhov. *Sistemy mikropro-cesorowe wrolnictwte. 2nd conference on mickoprocessor systems in acgriculture.* Conference materials. (18...19 September 1997). Plock, 1997. P. 113-117.

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОДІЛЬНО-МНОЖУВАЛЬНОГО БЛОКУ ПРИСТРОЮ ОЦІНКИ ЯКОСТІ БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ФІКСОВАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

Яковлев В. Ф.

Анотація

Висока якість продукції сільського господарства, що йде на реалізацію населенню, може бути досягнена тільки при забезпеченні технологічних процесів (виробництва, переробки, зберігання) технічними засобами контролю якісних ознак початкової сировини, контролем якості продукції на проміжних і кінцевих операціях.

Особливі труднощі, при контролі в технологічному потоці, представляють біологічні об'єкти фіксованої геометричної форми (яблука, баштанні, томати, лимон, апельсин та ін.), якість яких не завжди можливо визначити по зовнішньому стану продукту (наприклад, баштанні) без його руйнування.

Позитивне вирішення цієї задачі можливо тільки при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів неруйнівного експресного контролю якісних ознак продукції.

Із порівняння переваг та недоліків різних фізичних методів контролю, які можуть бути реалізовані у технічному засобі, найбільш перспективним є метод акустичного зондування, який дозволяє оцінювати якісні ознаки продукту, що тісно пов'язані з його анатомічною структурою і фізико-біохімічними характеристиками, по параметрам акустичного поля.

Наведений матеріал представляє результати теоретичних та експериментальних досліджень по обґрунтуванню параметрів одного із блоків пристрою експресного неруйнівного контролю якісних ознак сільськогосподарської продукції в технологічному потоці і надає можливість проектування та технічної реалізації подібних пристроїв.

Ключові слова : акустичне зондування, параметри акустичного поля, ударне збудження, подільно-множувальний блок, коефіцієнт передачі, інтервал варіювання, дисперсія адекватності, дисперсія відтворюваності, лінеаризації, провідність, асиметрія, ексцес.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕЛИТЕЛЬНО-МНОЖИТЕЛЬНОГО БЛОКА УСТРОЙСТВА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ФИКСИРОВАННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Яковлев В. Ф.

Аннотация

Высокое качество продукции сельского хозяйства, идущее на реализацию населению, может быть достигнуто только при обеспечении технологических процессов (производства, переработки, хранения) техническими средствами контроля качественных признаков исходного сырья, контроля качества продукции на промежуточных и конечных операциях.

Особые трудности при контроле в технологическом потоке, представляют биологические объекты фиксированной геометрической формы (яблоки, бахчевые, томаты, лимон, апельсин и др.), качество которых не всегда возможно определить по внешнему состоянию продукта (например, бахчевые) без его разрушения.

Положительное решение этой задачи возможно только при широком внедрении современных методов и технических средств неразрушающего экспресного контроля качественных признаков продукции.

Из сравнения преимуществ и недостатков различных физических методов контроля, которые могут быть реализованы в техническом средстве, наиболее перспективным является метод акустического зондирования позволяющий оценивать качественные признаки продукта, которые тесно связаны с его анатомической структурой и физико-биохимическими характеристиками, по параметрам акустического поля.

Приведенный материал представляет результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию параметров одного из блоков устройства экспресного неразрушающего контроля качественных признаков

сельскохозяйственной продукции в технологическом потоке и создает предпосылки проектирования и технической реализации подобных устройств.

Ключевые слова : акустическое зондирование, параметры акустического поля, ударное возбуждение, делительно-множительный блок, коэффициент передачи, интервал варьирования, дисперсия адекватности, дисперсия воспроизводимости, линеаризации, проводимость, асимметрия, эксцесс.

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF A DIVIDING-MULTIPLE UNIT OF A DEVICE FOR ASSESSING THE QUALITY OF BIOLOGICAL STRUCTURES OF A FIXED GEOMETRIC FORM

V. Yakovlev

Summary

The high quality of agricultural products sold to the population can be achieved only if technological processes (production, processing, storage) are provided with technical means for controlling the quality characteristics of raw materials, product quality control at intermediate and final operations.

Biological objects of fixed geometric shape (apples, melons, tomatoes, lemon, orange, etc.), the quality of which is not always possible to determine by the external state of the product (for example, melons) without destroying it, are especially difficult to control in the process flow.

A positive solution to this problem is possible only with the widespread introduction of modern methods and technical means of non-destructive express control of product quality features.

From a comparison of the advantages and disadvantages of various physical control methods that can be implemented in a technical device, the most promising is the method of acoustic sounding, which makes it possible to evaluate the qualitative features of a product that are closely related to its anatomical structure and physico-biochemical characteristics, according to the parameters of the acoustic field.

The presented material presents the results of theoretical and experimental studies on the substantiation of the parameters of one of the units of the device for express non-destructive testing of qualitative characteristics of agricultural products in the process flow and creates the prerequisites for the design and technical implementation of such devices.

Keywords : acoustic sounding, acoustic field parameters, impact excitation, dividing-multiplier unit, transmission coefficient, variation interval, variance of adequacy, variance of reproducibility, linearization, conductivity, asymmetry, kurtosis.